



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**“EFECTO DE TEMPERATURA Y USO DE ETILENO  
EN EL DESVERDIZADO DE CHILE PÁPRIKA”**

**TESIS**  
Que para obtener el título de  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Presenta  
**P.D.I. SHAMID JORGE DE JESÚS ASSAF SILVA**

Asesora  
**DRA. ELIA NORA AQUINO BOLAÑOS**

TULANCINGO DE BRAVO, HIDALGO

NOVIEMBRE DE 2006

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por la disposición para el uso de los laboratorios del Instituto de Ciencias Agropecuarias.*

*A la Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital, por haber proporcionado los frutos de chile páprika para esta investigaci3n*

*Al Dr. Edmundo Mercado Silva por las facilidades del uso del laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de la Universidad Aut3noma de Querétaro.*

*A PROMEP, por el apoyo econ3mico para la realizaci3n de esta investigaci3n.*

*A la Dra. Ma. Isabel Reyes Santamaría, por el tiempo y apoyo brindado para la realizaci3n del análisis estadístico de esta investigaci3n y por sus conocimientos aportados para la revisi3n de este trabajo.*

*A la Dra. Alma Dela Hernández Fuentes, por su apoyo y valiosos aportes científicos para la realizaci3n de este material.*

*A la Dra. Norma Güemes Vera, por el apoyo brindado para la revisi3n de este material.*

*A la M. en C. Elía Trejo Trejo, por todas las facilidades prestadas para la realizaci3n de este trabajo y por la revisi3n del mismo.*

*Al M. en C. Rubén Corona Velásquez por su valiosa colaboraci3n para el desarrollo de este trabajo y sus atenciones.*

*Al M. en C. Jesús Franco Fernández, por su apoyo y colaboraci3n en este trabajo.*

*Y en especial a la Dra. Elía Nora Aquino Bolaños por su tiempo, dedicaci3n y paciencia para la realizaci3n de este trabajo,*

## **DEDICATORIAS**

*Geo y Chucan*

*Nay, Ian, Cande y Yuyis*

*Lolin y Anita; Jorge † y Jovita*

*Mary, Ame, Caro, Edmundo, Lolo †, Beto*

	<b>Página</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	4
<b>II. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS</b>	<b>5</b>
2.1 Descripción del chile páprika	5
2.2 Mercado mundial	8
2.3 La páprika como aditivo	8
2.4 Pigmentos	12
2.4.1 Carotenoides	12
2.4.2 Clorofila	15
2.5 Etileno	17
2.6 Manejo poscosecha del chile páprika	19
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>20</b>
3.1 Material biológico	20
3.2 Efecto de la temperatura	21
3.3 Efecto del uso de etileno	21
3.4 Extracción de pigmentos utilizando diferentes solventes	21
3.5 Variables de estudio	23
3.5.1 Color	23
3.5.2 Carotenoides	23
3.5.3 Análisis de Clorofila	24
3.5.4 Degradación del pigmento en oleoresina de páprika	25
3.5.5 Degradación del pigmento en polvo de páprika	26
3.5.6 Diseno de tratamientos	26
3.5.7 Análisis estadístico	26
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>27</b>
4.1 Descripción de la carta de color en chile páprika	27
4.2 Efecto de la temperatura en el desverdizado de chile páprika	29
4.2.1 Parámetro de color a*	29
4.2.2 Parámetro de color h	32
4.2.3 Carotenoides	34

4.2.4 Clorofila	39
4.3 Efecto del uso de etileno en el desverdizado de chile páprika	41
4.3.1 Parámetro de color a*	41
4.3.2 Parámetro de color h°	43
4.3.3 Carotenoides	43
4.3.4 Clorofila	46
4.4 Extracción del pigmento utilizando diferentes solventes	47
4.5 Degradación del pigmento en oleoresina de páprika	50
4.6 Degradación del pigmento en polvo de páprika	51
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>54</b>
<b>VII. APÉNDICE</b>	<b>59</b>

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>Página</b>
Cuadro 1. Valores promedio de los parámetros de L, a*, b*, cromaticidad y ángulo de matiz en frutos de chile páprika en seis estados de madurez.....	27
Cuadro 2. Valores promedio del parámetro a* en el tiempo inicial en frutos de chile páprika en seis estados de madurez.....	30
Cuadro 3. Valor promedio del efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el parámetro de color a* en frutos de chile páprika.....	31
Cuadro 4. Valor promedio de a* en frutos de chile páprika cosechados en seis estados de madurez y almacenados siete días a temperatura ambiente $\pm 22\text{ }^\circ\text{C}$ , 30 y 35 $^\circ\text{C}$ .....	32
Cuadro 5. Valor promedio del efecto de temperatura de almacenamiento sobre el parámetro de color h en frutos de chile páprika.....	33
Cuadro 6. Valor promedio de h en el tiempo inicial en frutos de chile páprika en seis estados de madurez.....	33
Cuadro 7. Valor promedio de h en frutos de chile páprika cosechados en seis estados de madurez y almacenados siete días a temperatura ambiente $\pm 22\text{ }^\circ\text{C}$ , 30 y 35 $^\circ\text{C}$ .....	34
Cuadro 8. Valor promedio del efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de carotenoides (fracción roja) en frutos de chile páprika.....	36
Cuadro 9. Valor promedio del contenido de carotenoides que corresponden a la fracción roja en frutos de chile páprika después de siete días de almacenamiento.....	37
Cuadro 10. Valor promedio del efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de carotenoides (fracción amarilla) en frutos de chile páprika.....	38
Cuadro 11. Valor promedio del contenido de carotenoides que corresponden a la fracción amarilla en frutos de chile páprika después de siete días de almacenamiento.....	38
Cuadro 12. Valor promedio del efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de clorofila en frutos de chile páprika.....	39
Cuadro 13. Valor promedio del contenido de clorofila total en frutos de chile páprika cosechados en seis estados de madurez y almacenados siete días a temperatura ambiente $\pm 22\text{ }^\circ\text{C}$ , 30 y 35 $^\circ\text{C}$ .....	40

Cuadro 14. Valor promedio del parámetro de color $a^*$ en frutos de chile páprika cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante y almacenados a concentraciones de 0 y 100 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ , durante 0, 3 y 6 días.....	42
Cuadro 15. Valor promedio del parámetro de color $h^\circ$ en frutos de chile páprika cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante y almacenados en 0 y 100 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ de etileno durante 0, 3 y 6 días.....	44
Cuadro 16. Valor promedio del contenido de carotenoides (fracción roja) en frutos de chile páprika cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante y almacenados 6 días a 30°C y en concentraciones de 0 y 100 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ de etileno.....	44
Cuadro 17. Valor promedio del contenido de carotenoides (fracción amarilla) en frutos de chile páprika cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante y almacenados 6 días en concentraciones de 0 y 100 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ .....	45
Cuadro 18. Valor promedio del contenido de clorofila en frutos de chile páprika cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante y almacenados 6 días en concentraciones de 0 y 100 $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ .	47
Cuadro 19. Valor promedio del rendimiento de oleoresina obtenida con diferentes solventes.....	48
Cuadro 20. Valor promedio del contenido de carotenoides (fracción roja) obtenido con diferentes solventes.....	49

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Estructura de los principales carotenoides presentes en chile páprika.....	13
Figura 2. Estructura de la clorofila.....	16
Figura 3. Carta de color que se tomó como referencia para cosechar frutos de chile páprika en seis estados de madurez.....	20
Figura 4. Degradación de carotenoides en polvo de chile páprika almacenado durante 90 días.....	50
Figura 5. Degradación de carotenoides en oleorresina de chile páprika almacenada durante 90 días.....	52

## RESUMEN

Para evaluar el efecto de temperatura y uso de etileno en el desverdizado de chile páprika, se utilizaron frutos producidos en los invernaderos de la Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital en Ixmiquilpan, Hidalgo. Los frutos fueron cosechados en forma manual en los estados de madurez verde brillante, verde profundo, verde cambiante, rojo cambiante, rojo brillante y parcialmente seco, muestras de cada estado de madurez fueron almacenadas a temperatura ambiente 22 C, 30 y 35 C. Después de 0 y 7 días se analizaron como variables respuesta los parámetros de color L, a\*, b\*, cromaticidad y ángulo de matiz, el contenido de carotenoides (fracciones roja y amarilla) y el contenido de clorofila. En la evaluación del uso de etileno se utilizaron frutos en los estados de madurez verde cambiante y rojo cambiante, los cuales fueron almacenados bajo una corriente de etileno 0 y 100  $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ . Después de 0, 3 y 6 días se evaluaron las variables respuestas antes indicadas.

De acuerdo a los datos de color, los parámetros a\* y h son los más adecuados para describir los cambios de color durante la maduración del chile páprika. Los frutos en estados de madurez verde brillante y verde profundo mostraron incapacidad para madurar en forma homogénea, independientemente de la temperatura de almacenamiento. Mientras que los frutos en estados de madurez verde cambiante y rojo cambiante después de 7 días registraron valores de a\* y h similares a los frutos cosechados rojo brillante. El contenido de carotenoides de la fracción roja presente en los frutos fue mayor que el de la fracción amarilla. La fracción roja de los carotenoides fue mayor en los frutos almacenados a 30 C, con valores de 18.33  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  en comparación con los frutos almacenados a 35 C, siendo de 15.98  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  y temperatura ambiente 22 C de 15.29  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Para el estado de madurez rojo cambiante y el tratamiento con etileno se observó la mayor concentración del pigmento con 28.84 y 21.63  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  para las fracciones roja y amarilla, respectivamente, que si se compara con frutos en el mismo estado de madurez que no fueron tratados con etileno de 21.18 y 13.15  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ; para las fracciones roja y amarilla; resultados similares se observaron con los frutos en el estado de madurez verde cambiante, lo cual muestra la ventaja del uso de etileno para obtener mayor concentración de estos pigmentos.

El mayor rendimiento de oleorresina se obtuvo al utilizar el etanol como solvente, sin embargo la extracción con acetona produjo la oleorresina con mayor contenido de pigmentos. La temperatura y la exposición a la luz juegan un papel importante en la estabilidad del pigmento de chile páprika en sus presentaciones como polvo y oleorresina.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el mercado mundial de colorantes naturales ha crecido significativamente debido a los cambios en las preferencias de los consumidores, principalmente de los países industrializados, a consumir productos naturales no dañinos para la salud. En este sentido el cultivo del chile páprika, fuente natural de pigmentos, se ha convertido en una de las especies más consumidas y cultivadas en el mundo, incluyendo México, Estados Unidos, Chile, Perú, España, Marruecos, Zambia, África, Israel, China e India por mencionar algunos (Bosland, 1993).

El interés y la cotización del chile páprika se han incrementado, no solo por su importancia económica, si no también por su composición. La páprika es un fruto que contiene micronutrientes importantes como vitaminas C y E, Somos (1984). Estudios epidemiológicos han confirmado, que si, diariamente, se consume una adecuada cantidad de chile páprika se puede reducir el riesgo de cáncer y problemas cardiovasculares (Gey y Puska, 1989).

En la zona del Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo existen en la actualidad 375 invernaderos, con una superficie cultivable de 42.5 hectáreas (Secretaría de Desarrollo Social del Estado de Hidalgo, 2002); en estos invernaderos actualmente se produce jitomate, este cultivo tiene un gran rendimiento en cuanto a producción pero tiene el inconveniente de que el precio fluctúa de acuerdo a la oferta y la demanda del mercado y la susceptibilidad a patógenos como el "chino" de tomate lo cual crea la necesidad de buscar cultivos alternos. Una propuesta de cultivo alternativo es la producción de chile páprika.

EL chile páprika se utiliza ampliamente en la industria de los alimentos como pigmento natural para dar color rojo a productos como: jamón, chorizo, salchicha, queso, botanas, etc. La coloración en el chile páprika se debe principalmente a los carotenoides que se sintetizan durante la maduración del fruto. Para obtener la máxima coloración del pigmento, éste se debe extraer a partir de un fruto completamente maduro, sin embargo una misma planta de páprika presenta frutos

con diferentes grados de madurez, por lo tanto no tienen la misma coloración, lo cual hace necesario cosechar el fruto en repetidas ocasiones, lo que representa más gasto de mano de obra y de un incremento de tiempo del fruto en la planta con un mayor consumo de nutrientes. Una forma de lograr una maduración más homogénea y con un elevado contenido de pigmentos podría ser con el uso de la temperatura y el etileno (Gey y Puska, 1989).

No se tienen datos de producción de chile paprika en Mexico, sin embargo es clara la demanda de este producto por parte de la industria de productos carnicos. Un ejemplo concreto es el requerimiento de la Empresa Tres Villas S.A., la cual importa de Espana 10 000 kg de chile paprika /mes, con un costo promedio de 1.6 a 1.8 Euros/kg mas gastos de envío. Esta empresa esta dispuesta a comprar chile paprika deshidratada producida en el Valle del Mezquital siempre y cuando cumpla con las normas de calidad internacionales.

Por lo antes expuesto, en este proyecto se plantea utilizar dos herramientas: la temperatura y el etileno para lograr que el pigmento del chile paprika sea competitivo en el mercado en presentaciones como polvo y como oleorresina.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar el uso de temperatura y etileno para el desverdizado del fruto de chile paprika, así como definir las condiciones para la extracción del pigmento.

### **Objetivos específicos**

- Identificar los parámetros de color que mejor se relacionen con el estado de madurez del chile paprika.
- Evaluar el efecto de temperatura sobre el desverdizado de chile paprika.

- Determinar el efecto del uso de etileno ( $100 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ ) en el desverdizado de chile páprika.
- Identificar el rendimiento y la calidad de oleorresina obtenida con el uso de diferentes solventes orgánicos (acetona, etanol, éter de petróleo y hexano) como medio de extracción.
- Determinar la influencia de la temperatura de almacenamiento en la degradación del pigmento

## **HIPÓTESIS**

El uso de una temperatura adecuada y etileno permite obtener una mayor calidad de pigmento en frutos de chile páprika.

## II. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

### 2.1 Descripción del chile páprika

#### *Características Botánicas*

La planta es anual, herbácea, tiene un sistema radicular pivotante provisto y reforzado de un número elevado de raíces adventicias. Tiene tallo de crecimiento limitado y erecto, con un porte que en término medio puede variar entre 0.5 – 1.5 m. Cuando la planta adquiere una cierta edad los tallos se lignifican ligeramente. Posee hojas glabras, enteras, ovales o lanceoladas con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo o poco aparente (Somos, 1984).

Las flores poseen la corola blanquecina, aparecen solitarias en cada nudo y son de inserción aparentemente axilar. El fruto es una baya semicartilaginosa y de color rojo, su forma y tamaño es muy variable (Giaconi, 1990).

Las semillas, redondeadas y ligeramente reniformes, suelen tener 3-5 mm de longitud y se insertan sobre una placenta cónica de disposición central y son de color amarillo pálido (Somos, 1984).

La duración del periodo vegetativo para el chile páprika desde el momento de la siembra hasta la primera cosecha es de 5 meses prolongándose la cosecha por 60 días (Somos, 1984).

#### *Taxonomía*

El chile páprika pertenece a la familia de las solanáceas y su nombre científico más generalizado es el de *Capsicum annuum* L. (Maroto, 1989). Cabe señalar que dada la complejidad taxonómica existente en general en pimientos es difícil establecer una clasificación homogénea que agrupe las distintas variedades. Existen diversas clasificaciones, algunos autores como Baile (1977), solo reconoce una especie (*C. Nahum*) que engloba toda la variabilidad genética. Otros autores distinguen dos especies: *Capsicum annuum* L. y *Capsicum frutescens* L.

### *Origen y Variedades*

El chile paprika conforma una diversidad de especies, entre ellas el pimiento rojo comun; muchas de ellas son de gran interes en la cocina de todo el mundo. El fruto segun las variedades y países, se llama pimiento, paprika, chile, aj, guindilla, etc. (Somos, 1984).

Desde un punto de vista práctico existen tres variedades:

- Variedades dulces
- Variedades con sabor picante
- Variedades para la obtención de oleorresinas

Las características de las variedades más comunes son las siguientes:

*Papri King*: El fruto producido por esta variedad de chile paprika tiene una longitud promedio de 15.2 a 20.3 cm. El fruto es de paredes delgadas con un excelente color rojo y poco picante, en la mayoría de las condiciones de cultivo, la capacidad para secado es muy buena (Zapata y col., 1992).

*Papri Queen*: Produce frutos de paredes delgadas, de largo ligeramente menor que Papri King, pero de hombro mucho más ancho, es de buena capacidad para el secado (Zapata y col., 1992).

*Sonora*: Pimiento tipo Anaheim está caracterizado por excelentes cosechas de frutos grandes y uniformes. Produce frutos de 20.3 x 3.8 cm con dos celdas lisas y de paredes gruesas. Es una planta erecta, de tamaño mediano con madurez precoz. El fruto madura hacia el rojo oscuro y es excelente para su procesamiento (Zapata y col. 1992).

Los pimientos no picantes o dulces se presentan en numerosas variedades, en colores rojo, amarillo y verde, y en formas y tamaños muy diversos. Con el pericarpio seco molido del pimiento dulce se elabora el pimentón. Las variedades picantes, suelen ser llamadas: chiles o ajíes (Somos, 1984).

El nombre paprika tiene su origen en la palabra Greco-Latina Peperi-Piper, presumiblemente fue gradualmente cambiando de nombre de Peperke para finalmente llegar a paprika. Kardos (1999), señala que la paprika obtiene su nombre botanico (*Capsicum*) de la palabra griega Kapso, Kaptein (picar, devorar) y ademas *Kapsakes* (vaina, capsula).

America es considerada el centro de origen del chile paprika, fue sembrada en diversos lugares de Sudamerica antes del descubrimiento de America. Sin embargo, algunos autores han opinado que podría haber sido nativo de la India; no obstante, los reportes de mayor credibilidad indican que Peru y Mexico cultivaron pimientos incluso antes de la aparicion del hombre blanco (Jones y Rosa, 1982).

Posteriormente fue difundido en el norte de USA y luego del descubrimiento de America fue trasladado a Europa y Asia para luego distribuirse alrededor del mundo (Jones y Rosa, 1982).

Hungría ha sido uno de los paises que mas ha desarrollado el chile paprika desde su aparicion a mediados del siglo XVI (Jones y Rosa, 1982)

El desarrollo del chile paprika como un cultivo a gran escala, se remonta a la epoca Napoleonica, sin embargo, su cultivo ha tenido una serie de altibajos en su desarrollo incluso la influencia de la I y II Guerra Mundial (Somos, 1984).

## **2.2 Mercado mundial**

España concentra más del 30 % de la demanda mundial (15,000 a 20,000 toneladas anuales), para atender los requerimientos de su industria cárnica (70 %) entre las que destaca el rubro de chorizos, carne para hamburguesas y salchichas. Por el lado de la oferta, una de las razones que ha contribuido a la tendencia creciente en las importaciones de ese país ha sido el severo deterioro de las áreas cultivadas, que decrecieron de 30,000 ton en 1986 a menos de 12,000 en el año 2000, consecuencia de las plagas y epidemias que afectaron las principales zonas productoras (Downham y Collins, 1999).

El mayor productor y exportador de colorante de chile páprika es Perú, esto reflejado en las exportaciones que superan los US\$ 7 millones anuales, los cuales se realizan en mayor volumen en polvo y páprika en vaina, la reconocida calidad del producto peruano en el mercado español (que concentra mas del 90 % de los embarques peruanos totales) así como la uniformidad y calidad del producto en todo el año la hacen preferida de este mercado (Downham y Collins, 1999).

No existen reportes de la producción de páprika en México, sin embargo es clara la demanda de este producto en nuestro país para satisfacer la industria de los productos cárnicos principalmente.

## **2.3 El chile páprika como aditivo**

El chile páprika (pimentón dulce) es valorada por su sabor y color, el chile páprika seco y molido es un aderezo y un ingrediente saborizante esencial en guisos húngaros (goulash), pollo a la páprika, aderezos franceses, chorizo, huevos cocidos y rellenos con salsa picante (Nnez y col., 1996).

En la elaboración del pimentón podemos diferenciar tres fases: la primera es el cuidado de la plantación; la segunda fase el secado del fruto (secado natural, por exposición al sol y/o secado mediante aire caliente) y como tercera fase el molido, una vez secos los pimientos, se realizan varios pasos de molido dando origen a un fino polvo de color rojo intenso. Otro derivado es la oleorresina que es un aceite viscoso que tiene color intenso y aroma tpico del pimentón. La oleorresina de

chile páprika se utiliza como colorante natural en productos alimenticios procesados, fundamentalmente carnes, sopas, salsas, etc.; además se emplea en la industria cosmética (Núñez y col., 1996).

En los años 50's, los primeros extractos de páprika (pimentón dulce) fueron producidos por la industria alimenticia en respuesta a la necesidad del chile páprika debido a su color consistente y fuerte, calidad microbiológica superior, reducido espacio de almacenaje, larga vida de anaquel y compatibilidad con otras especias y extractos colorantes (Núñez y col., 1996).

#### *Aderezos y Salsas*

La oleorresina del chile páprika es comúnmente usada para dar color a fluidas y manejables salsas y aderezos. Es recomendada para uso en productos altos en grasa. Esta puede ser fácilmente incorporada directamente en emulsiones o en fases acuosas previas a la producción de la emulsión. El colorante del chile páprika usado al 0.02 % a 0.05 % produce colores de amarillo ligero a durazno. Altos niveles como 0.1 % a 0.2 % son usados para desarrollar el sabor y un brillante color naranja típico de los aderezos tipo francés. El matiz y la intensidad del color obtenidos es dependiente no sólo de la proporción adicionada, sino también del tamaño de partículas de líquidos emulsificantes y concentraciones relativas de oleorresinas en cada una de las fases (Iturriaga, 2000).

#### *Marinados*

Los marinados pueden ser matizados con oleorresina de chile páprika para proveerle un tono atractivo rojo-anaranjado a la carne. La oleorresina de chile páprika en una proporción de 0.1 % a 1.0 % puede ser incorporada directamente en marinados líquidos. Los marinados secos pueden ser coloreados con 0.1 % a 1.0 % mediante la incorporación de la oleorresina de chile páprika líquida en los ingredientes secos (Iturriaga, 2000).

### *Queso procesado*

La oleorresina de chile páprika es un ingrediente común usado para colorear el queso procesado y las salsas de queso. La oleorresina de chile páprika en proporción de 0.06 % a 0.1 % producirá un matiz naranja brillante. El chile páprika es comúnmente usada en combinación con uno o más de los siguientes pigmentos:  $\beta$ -caroteno, achiote y cúrcuma. La adición de estos pigmentos modifica el matiz a un brillo más amarillo-naranja (Iturriaga, 2000).

### *Emulsiones*

La oleorresina de chile páprika puede ser usada en salchichas ahumadas, salchicha bologna y otras procesadas carnes emulsificadas. Estos productos, los cuales consisten en una emulsión de proteína de carne, agua, y grasa, típicamente usan proporciones bajas de chile páprika como 0.01 % a 0.03 % (Iturriaga, 2000).

### *Salchicha seca y semi-seca*

La oleorresina de chile páprika es un ingrediente estandarizado en salchichas secas altamente coloreadas como pepperoni y chorizo. Los intervalos típicamente usados van de 0.07% a 0.09%, basado en el peso total de la carne fresca que resultará en un brillante pepperoni. Las mezclas de sabor, las cuales incorporan oleorresina de chile páprika, ingredientes inhibidores de la oxidación y sabores, son una popular alternativa al uso de oleorresinas pasadas por portadores secos como sal (Iturriaga, 2000).

### *Saborizantes para botanas y cracker meal*

Muchos saborizantes como el barbecue, nachos de queso y otras mezclas utilizadas para acompanar botanas y cracker meal son coloreados con oleorresina de chile páprika. Las proporciones utilizadas varían mucho dependiendo de la intensidad del color deseado. Niveles como 0.2 % a 0.5 %, producirán queso con un matiz amarillo-naranja. Las dosis de 1 % a 2 % pueden ser requeridas para lograr una apariencia barbecue (Iturriaga, 2000).

### *Oleorresinas*

Es un extracto soluble en aceite con concentración estandarizada de color, ampliamente usado en alimentos procesados como salchichas, aderezos, condimentos secos solubles, capas de alimentos y condimentos de comidas ligeras o botanas (Harkay-Vincler, 1974).

La oleorresina de chile páprika es producida mediante la extracción de lípidos y pigmentos de las vainas del pimentón rojo dulce, *Capsicum annuum*. Ésta es incorporada para proveer un color brillante dorado-naranja a café-naranja a las capas aplicadas a carnes, papas y vegetales. Generalmente, las oleorresinas son previamente colocadas en portadores (vehículos) secos como sal o una pequeña porción de harina u otro ingrediente seco. La mezcla previamente combinada es incorporada con los otros ingredientes secos en una mezcladora. El matiz final y su intensidad dependen de factores en el procesamiento como el tiempo y las técnicas de mezclado, tiempos de cocción y temperaturas. Otros factores igualmente importantes para el desarrollo de matices son los niveles de hidratación, tamaño de partículas de los ingredientes secos, tasa de adición de oleorresina de chile páprika, el color originado por los otros ingredientes y la proporción de los ingredientes secos y líquidos. La producción y almacenamiento de estos productos alimenticios conduce a un estrés oxidativo severo en los pigmentos de oleorresina de chile páprika (Harkay-Vincler, 1974).

## **2.4. Pigmentos**

### **2.4.1. Carotenoides**

En la mayoría de los frutos, los colores amarillo, anaranjado y rojo son debido a la presencia de carotenoides. Estos pigmentos junto con la clorofila se encuentran en todos los organismos capaces de realizar la fotosíntesis. Se estima que, en forma natural, se producen anualmente 100 millones de toneladas de carotenoides. Es importante mencionar que estos compuestos solo son sintetizados por las plantas (Czygan, 1980).

El nombre de carotenoides se deriva del  $\beta$ -caroteno, el cual fue aislado de las zanahorias por Wackenroder en 1831. Seis años después, Berzelius llamó a los pigmentos de las hojas amarillas xantofilas. En 1906, Tswett logro la primera separación de los pigmentos de las hojas por cromatografía. Separo cuatro tipos de carotenoides, los pigmentos de la clorofila y reconoció que los pigmentos amarillos forman una familia. Un año después los carotenoides fueron caracterizados como derivados de isoprenoides. En 1930, Karrer elucidó la estructura del  $\beta$ -caroteno y la vitamina A (Davies, 1976).

Zechmeister introdujo el concepto de polieno, mientras Kuhn demostró la relación entre el color y la conjugación en la cadena de dobles enlaces. En 1934, Zechmeister publicó la primera monografía sobre carotenoides. En el mismo año Lederer publico tres monografías sobre carotenoides, uno específicamente en plantas. En estas fechas el número de carotenoides conocidos había incrementado de 15 a 80. Esto fue debido a la mejoría de métodos de aislamiento con el desarrollo de absorción cromatográfica por la escuela de Kuhn y por Strain, el uso de métodos de degradación oxidativa y el desarrollo de métodos sintéticos (Davies, 1976).

Los nuevos métodos físicos como la absorción, resonancia magnética nuclear y la espectroscopia de masa trajeron un avance revolucionario. Estos métodos aunados a los rayos X, dispersión óptica rotatoria y dicroísmo circular han

permitido identificar aproximadamente 450 estructuras de carotenoides (Davies, 1976).

Los carotenoides son terpenoides de 8 unidades de isoprenoides, casi todos los carotenoides están compuestos por 40 átomos de carbono. Estos pigmentos están divididos en 2 grupos: los carotenos con sus derivados oxigenados y las xantofilas. Los 2 grupos son insolubles en agua, pero las xantofilas son menos hidrofóbicas que los carotenoides por contener en los dos extremos de su cadena alogenada un radical OH (Kirk y Tilney-Basset, 1978b). En la Figura 1 se muestra la estructura los principales carotenoides presentes en el chile páprika.

El matiz amarillo-naranja a rojo-naranja de la páprika es creado mediante la mezcla de pigmentos carotenoides biosintetizados en los cromoplastos de la vaina. Las xantofilas están presentes al principio como ésteres de ácidos grasos también en las vainas (Davies, 1976).

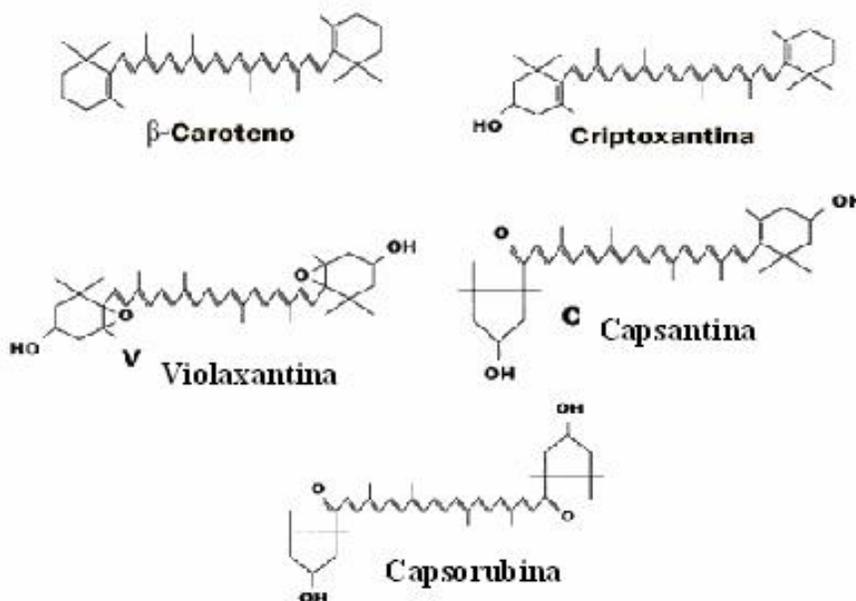


Figura 1. Estructura de los principales carotenoides presentes en chile páprika

Los carotenoides están localizados en los cloroplastos y cromoplastos. Los cloroplastos están ubicados en el tejido fotosintético especialmente en hojas y también en todos los frutos inmaduros y algunos frutos maduros, mientras que los cromoplastos se encuentran en flores y frutos maduros e imparten colores en el intervalo de amarillo a anaranjado y a rojo. Los carotenoides están asociados con la clorofila en el cloroplasto y cromoplastos (Czygan, 1980)

Los pigmentos del chile páprika son unos de los más viejos e importantes colorantes naturales usados en alimentos. Los carotenoides de pimienta roja fueron investigados por Cholnoky y col., (1955) quienes también determinaron su estructura. Durante la maduración, los carotenoides en los frutos se tornan gradualmente amarillos, anaranjados o rojos, por la descomposición de la clorofila y la carotenogénesis; estos cambios se correlacionan con la conversión de cloroplasto en cromoplasto, proceso que es inducido por la interacción de diferentes hormonas como el etileno que promueve la maduración (Czygan, 1980).

Los cromoplastos se caracterizan por su alta y rápida habilidad biosintética, la cual es reflejada en la aparición de múltiples carotenoides de diferentes tipos (Czygan, 1980).

Los carotenoides pueden ser sintetizados *de novo* en plantas superiores, vasculares, algas y bacterias fotosintéticas. Los carotenoides en tejidos naturales generalmente están presentes como una compleja mezcla de sustancias, tan solo en la naranja han sido identificados más de 50 carotenoides (Reinhard, 1996).

Deli y col., (2001), mencionan que en chile páprika se han identificado más de 40 carotenoides encontrándose un total de  $1755.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de carotenoides en la variedad yolo wonder, de los cuales se han identificado principalmente  $\beta$ -caroteno, criptoxantina, violaxantina, zeaxantina, neoxantina, capsantina y capsorbina, presentes en 15.4, 12.3, 7.1, 2.0, 33.3, y 10.3% respectivamente (Reinhard, 1996).

### 2.4.2 Clorofila

La clorofila esta presente en los frutos inmaduros ( $0.04 - 0.31 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ), los cuales al principio de su desarrollo contienen cloroplastos, en mayores cantidades en la cáscara que en la pulpa (Kirk y Tilney-Basset, 1978a). Durante la maduración los cloroplastos son gradualmente desorganizados a medida que el tilacoide es destruido y la clorofila se descompone (Kader y Morris, 1978).

Las clorofilas son porfirinas, que forman un anillo tetrapirrólico de los cuales uno de ellos está en forma reducida. Los cuatro anillos están unidos a un ión magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Un quinto anillo isocíclico se encuentra unido al tercer anillo del pirrol. En el cuarto anillo, el residuo de ácido propiónico está esterificado a una cadena de fitol ( $\text{C}^{20}\text{H}^{39}\text{OH}$ ). Los dos tipos de clorofilas a y b, solo difieren en el residuo ligado al carbono 3 del anillo tetrapirrólico; si este es un metilo, se le conoce como clorofila a y si es un formaldehído como clorofila b (Figura 2); estas se encuentran en una proporción de 3 a 1 en las plantas verdes aunque esta proporción varía de acuerdo a las condiciones ambientales donde estas plantas se desarrollan; los tejidos expuestos al sol suelen tener un mayor contenido de clorofila a respecto de los que se encuentran a la sombra (Kidmose y col., 2002; Heaton y Marangoni, 1996).

La proporción de clorofila a/b en muchos de los frutos también varia dependiendo la especie, cultivo y condiciones ambientales. En el fruto hay pronunciadas diferencias en el contenido de clorofila en la cáscara y en la pulpa (Schneider, 1975).

Las clorofilas a y b están ampliamente distribuidas en todas las partes comestibles de los vegetales al menos en alguna etapa de su desarrollo (Kidmose y col., 2002). Estas se encuentran en mayor cantidad en las hojas verdes de las hortalizas y en la piel de frutos inmaduros (Dorantes-Alvarez y Chiralt, 2000).

Desde el punto de vista de estabilidad, la clorofila a se degrada más rápido respecto de la clorofila b (Kidmose y col., 2002).

Durante el proceso de maduración y senescencia de distintos tejidos, se pone en marcha un mecanismo que destruye los cloroplastos y sus pigmentos y en su lugar aparecen los cromoplastos. Estos cambios están directamente relacionados con la producción de etileno, el cual inicia una cascada de señales que tienen su respuesta a nivel genético (Heaton y Marangoni, 1996).

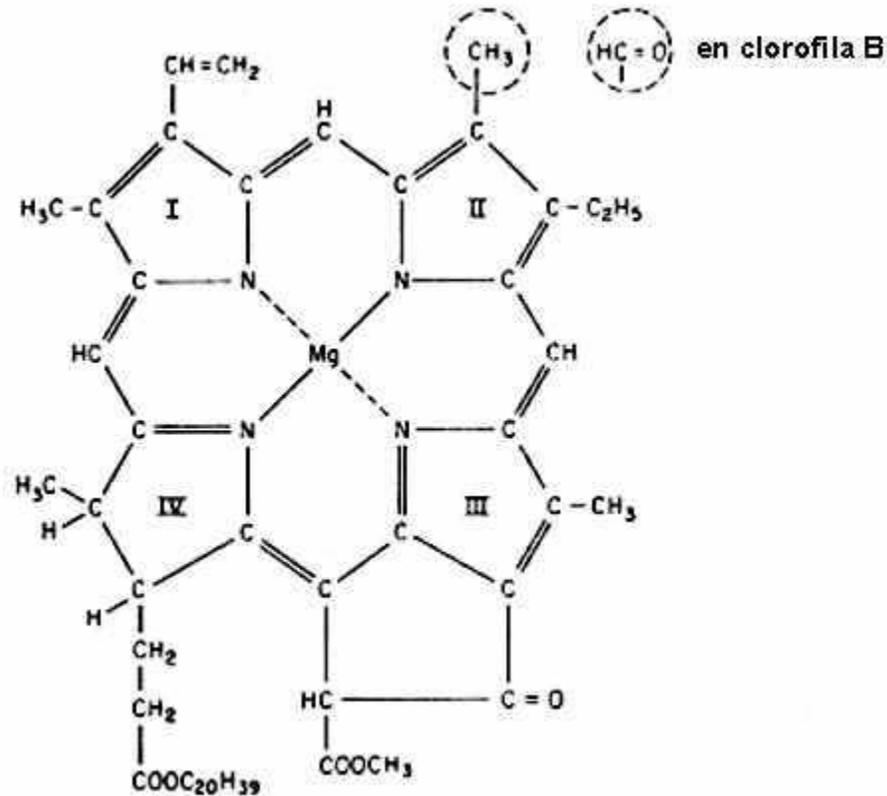


Figura 2. Estructura de la clorofila

### *Cambios en la composición durante la maduración de los frutos*

En los pigmentos el cambio más drástico producido durante la madurez es la alteración del color por síntesis en los pigmentos y destrucción de la clorofila. Las coloraciones de amarillas y naranjas solo se obtienen al desaparecer la clorofila; el licopeno, sólo se forma al final de la maduración; las antocianinas no son enmascaradas por la clorofila y se observa su síntesis durante el proceso (Heaton y Marangoni, 1996).

Al cosechar la fruta se interrumpe la fotosíntesis y continúan los procesos bioquímicos de la respiración; reacciones enzimáticas; y la síntesis de pigmentos. Las más importantes son la respiración, la cual produce cambios fisiológicos como desaparición de la astringencia y el sabor agrio, cambios en la acidez, síntesis de pigmentos con eliminación de clorofila, ablandamiento de los tejidos por degradación de la pectina y desarrollo de aromas y sabores. La transpiración es la pérdida de agua en frutos y hortalizas debido al gradiente de presión de vapor de agua, entre el medio ambiente y la atmósfera interna del material (Schwartz y Lorenzo, 1990).

Por La actividad respiratoria los frutos y vegetales se dividen en climatéricos y no climatéricos, Los frutos climatéricos, se diferencian de los no climatéricos por la respuesta al etileno exógeno, que promueve la madurez y síntesis orgánica durante la maduración.

## **2. 5 Etileno**

El etileno es el más sencillo de todos los compuestos orgánicos que influye en los procesos fisiológicos de los vegetales; es considerado como la hormona de la maduración y es fisiológicamente activo al inicio de la maduración comercial de los frutos y durante la senescencia y el marchitamiento de los productos hortícolas, incluso a muy bajas concentraciones, normalmente inferiores a  $1.0 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$  (Shimokawa y col., 1978a).

Entre los numerosos efectos fisiológicos del etileno, destacan los que afectan directamente a algunos aspectos de la maduración, como son la estimulación de la respiración en los vegetales, el aumento del contenido de pectinas solubles, lo que va unido a la reducción de la dureza de la pulpa, la degradación de la clorofila, la hidrólisis de los polisacáridos y la pérdida de ácidos orgánicos, taninos y compuestos fenólicos (Stewart y Wheaton, 1971).

El etileno, siendo un hidrocarburo no saturado, es muy diferente a otras hormonas vegetales naturales. Aunque se ha sabido desde principios de siglo que el etileno provoca respuestas tales como geotropismo y abscisión, no fue sino hasta los años 60's que se empezó a aceptar como una hormona vegetal (Shimokawa y col., 1978b). A esta hormona se le ha implicado en la maduración, abscisión, senectud, dormancia, floración, geotropismo en las raíces y otras respuestas. El etileno parece ser producido esencialmente por todas las partes vivas de las plantas superiores, y la velocidad de producción varía con el órgano y tejido específico y su estado de crecimiento y desarrollo. El proceso puede ser sorprendente, pero no se puede dar marcha atrás una vez que se empezó. Entonces, la clave es aplicar etileno externamente con la condición que sea antes que la concentración interna natural alcance el nivel de  $0.1-1.0 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ , lo cual va a iniciar o promover este proceso natural prematuramente (Barmore, 1975).

El etileno es explosivo en concentraciones altas. Sin embargo, el nivel explosivo es 200 veces más grande que el que se encuentra normalmente en un cuarto de maduración. El etileno es usado para cambiar el color de los cítricos. Este es un proceso natural que promueve el cambio de los pigmentos, la pérdida del color verde en la cáscara removiendo la clorofila, lo cual permite que el anaranjado o amarillo cubra completamente la cáscara. No causa pérdida de sabor, esto es simplemente la continuación del proceso natural de la planta (Stewart y Wheaton, 1971).

El etileno puede promover la maduración de los tomates, plátanos, cítricos, piñas, dátiles, peras, manzanas, melones, mangos, aguacates y papayas, una indicación que la acción de etileno es general y extendida entre numerosos frutos. Es claro que el etileno es una hormona que hace posible la maduración, una sustancia química producida por frutas con el específico papel biológico de acelerar el proceso de maduración de los frutos y el envejecimiento. La maduración es el paso final del proceso, cuando el fruto cambia de color y desarrolla su sabor, textura y aroma, que es lo que se define como calidad óptima de consumo (Stewart y Wheaton, 1971).

En cuanto a la páprika, este fruto se ha clasificado como no climatérico y produce niveles muy bajos de etileno:  $0.1-0.2 \mu\text{l}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  a  $10^{\circ}-20^{\circ} \text{C}$ .

## 2.6 Manejo poscosecha del chile páprika

El  ndice de cosecha para los pimientos verdes es el tamaño, firmeza y color del fruto y para los pimientos de color es que deben de tener un mínimo del 50% de la coloración. Los índices de calidad son: forma uniforme, tamaño y color t pico del cultivar, la firmeza y la ausencia de defectos, tales como grietas, pudriciones y quemaduras de sol (Iturriaga, 2000).

Después de cosechar, los pimientos se deben enfriar lo más rápido posible para reducir la pérdida de agua. Los pimientos almacenados a temperaturas mayores a  $7.5^{\circ} \text{C}$  ( $45^{\circ} \text{F}$ ), pierden más agua y se arrugan. Para una vida útil más larga (3-5 semanas), lo mejor es almacenar los frutos a  $7.5^{\circ} \text{C}$  ( $45^{\circ} \text{F}$ ). También se pueden almacenar por dos semanas a  $5^{\circ} \text{C}$  ( $41^{\circ} \text{F}$ ), lo que reduce pérdidas de agua pero conlleva a la manifestación de daño por frío tras ese período. Entre los síntomas de daño por frío están picado, pudrición, coloración anormal de la cavidad interna y ablandamiento sin pérdida de agua. Los pimientos maduros o que ya lograron su color son menos sensibles al daño por frío que los pimientos verdes (Iturriaga, 2000).

### *Efectos de las Atmósferas Controladas (AC)*

Por lo general, no hay efecto de la AC en el pimiento. Las atmósferas que sólo tienen una concentración baja de  $\text{O}_2$  (2-5% ) tienen poco efecto en la calidad del fruto y las atmósferas con una alta concentración de  $\text{CO}_2$  (>5%) pueden dañar a los pimientos (picado, coloración anormal, ablandamiento), especialmente si se almacenan a menos de  $10^{\circ} \text{C}$  ( $50^{\circ} \text{F}$ ). Atmósferas con un 3%  $\text{O}_2$ + 5%  $\text{CO}_2$  fueron más benéficas para los pimientos rojos que para los verdes, cuando éstos se almacenaron a  $5^{\circ} \text{C}$  ( $41^{\circ} \text{F}$ ) a  $10^{\circ} \text{C}$  ( $50^{\circ} \text{F}$ ) durante 3-4 semanas (Cantwell, 1997).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Material biológico

Se utilizaron frutos de chile paprika (*Capsicum annum* L.) var. "papri king" cultivados en el invernadero experimental de la Universidad Tecnologica del Valle del Mezquital, ubicado en Ixmiquilpan, Hidalgo, los cuales fueron cosechados en forma manual en seis estados de madurez; : verde brillante (1), verde profundo (2), verde cambiante (3), rojo cambiante (4), rojo brillante (5) y parcialmente seco (6). Figura 3. Se tomo como referencia la escala de color descrita por (Krajayklang y col., 2000).



Figura 3. Carta de color que se tomo como referencia para cosechar frutos de chile paprika en seis estados de madurez.

Despues de cosechados los frutos fueron llevados a los laboratorios del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo para evaluar el efecto de la temperatura, y al laboratorio de Fisiología y Bioquimica Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Universidad Autonoma de Queretaro para evaluar el efecto del uso de etileno. Al llegar a los respectivos laboratorios los frutos se almacenaron durante 12 horas a 18 C, con el objeto de disminuir el calor de campo y homogenizar la temperatura de los frutos.

### **3.2 Efecto de temperatura**

Para evaluar el efecto de temperatura sobre el desverdizado de chile páprika se utilizaron frutos en seis diferentes estados de madurez identificados de acuerdo a su color como: verde brillante, verde profundo, verde cambiante, rojo cambiante, rojo brillante y parcialmente seco. Se eligieron 15 frutos de cada estado de madurez y fueron separados en 3 grupos. El primer grupo se almacenó a temperatura ambiente 22 C, el segundo a 30 C y tercero a 35 C. Como parámetro inicial se analizó el color y después de 7 días, se analizaron los parámetros de color (L, a\*, b\*, C\* y h), contenido de carotenoides (fracción roja y fracción amarilla) y clorofila. La temperatura se eligió tomando como referencia las recomendadas por (Reid, 1992).

### **3.3 Efecto del uso de etileno**

Se seleccionaron frutos de chile páprika en los estados de madurez verde cambiante y rojo cambiante. Un grupo de cinco chiles fue almacenado a temperatura de 30 C bajo una atmósfera de etileno 100  $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$  durante 3 días, después de este tiempo se quitó el flujo de etileno y los frutos se mantuvieron a la misma temperatura durante tres días más. Otro grupo con el mismo número de frutos fue utilizado como control haciéndoles pasar una corriente de aire. Como parámetro inicial se analizó el color. Al final de los tratamientos se analizaron los siguientes parámetros: color (L, a\*, b\*, C\* y h), contenido de carotenoides (fracción roja y fracción amarilla) y clorofila.

### **3.4 Extracción de pigmentos utilizando diferentes solventes**

Para determinar el rendimiento se tomo una muestra de 1 g de chile páprika seco y molido y se colocó en un dedal de celulosa cubierto con algodón, posteriormente se realizó la extracción en 3 pasos: extracción, lavado y secado, tomando un

tiempo de 7 horas con 20 minutos con cada solvente, el rendimiento del pigmento se realizó por medio de la diferencia de peso del recipiente que contuvo el extracto antes y después de la extracción y secado y se calculo con la siguiente fórmula:

$$\frac{g \text{ del extracto}}{g \text{ de muestra}} * 100 = \text{rendimiento}$$

Se utilizó un equipo soxhlet Büchi extraction system modelo B-811, usando 4 diferentes solventes: acetona, éter de petróleo, etanol y hexano, se realizaron 4 repeticiones con cada solvente.

Para evaluar la calidad del pigmento en  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  de carotenoides correspondiente a las fracciones roja y amarilla, el residuo se recuperó disolviendo en 50 ml de acetona y posteriormente se midió la absorbancia a 472 y 508 nm en un espectrofotómetro Marca Spectronic Mod. Genesys 5. Se realizaron las diluciones necesarias para mantener la absorbancia menor a la unidad (Hornero-Mendez y Mínguez-Mosquera, 2001).

### 3.5 Variables de estudio

#### 3.5.1 Color

Para evaluar el color se utilizó un colorímetro Minolta CM 2002 con iluminante D65 y ángulo de observador de 10°. Se realizaron tres mediciones de color sobre la superficie de cada fruto. Se registraron los valores de L, a\* y b\* con los cuales se calcularon la cromaticidad (C\*) y el ángulo de matiz (h°).

En el espacio de color CIE 1976 (L, a\*, b\*), o CIELAB, el coeficiente de luminosidad L, tiene un intervalo de negro = 0 a blanco = 100. Las coordenadas (a\*, b\*) localizan el color sobre una coordenada rectangular perpendicular a L\*. El color en el origen (a\* = 0, b\* = 0) es acromático (gris). Sobre el eje horizontal x, a\* positivo indica las tonalidades de rojo y a\* negativo, las tonalidades de verde. Sobre el eje vertical, b\* positivo indica amarillo y b\* negativo, azul.

McGuire, (1992), reportó que puede obtenerse una forma más adecuada para medir el color, con el cálculo del ángulo de matiz (h°) y la cromaticidad (C\*), estos dos parámetros son índices análogos a la intensidad y saturación de color. Los parámetros son calculados a partir de a\* y b\* con las siguientes fórmulas:

$$\text{Cromaticidad} \quad C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{El ángulo de matiz} \quad h^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*)$$

#### 3.5.2. Carotenoides

Para el análisis de carotenoides se eliminó el pedúnculo y las semillas de los frutos del chile; se deshidrató hasta obtener el 14% de humedad; posteriormente la muestra fue pulverizada. En un matraz erlenmeyer se pesaron 0.25 gramos del polvo obtenido y se adicionaron 50 ml de acetona, esta mezcla se mantuvo en agitación durante 4 horas para lograr que la acetona arrastrase los pigmentos presentes. El matraz fue cubierto con papel aluminio para evitar la degradación de

los pigmentos con la luz. Se filtró el extracto y se leyó a 472 y 508 nm en un espectrofotómetro Marca Spectronic Mod. Genesis 5. Se realizaron las diluciones necesarias para mantener la absorbancia menor a la unidad.

La concentración de carotenoides fue reportada en dos fracciones que corresponden a la fracción roja y a la fracción amarilla. La concentración para cada una de las fracciones fue calculada con los valores de absorbancia obtenidos de acuerdo a las siguientes fórmulas reportadas por (Hornero-Mendez y Mínguez-Mosquera, 2001).

$$C^R = \frac{A_{508} \times 21440 - A_{472} \times 4033}{2709} (\mu\text{g} / \text{ml})$$

$$C^Y = \frac{A_{472} \times 17243 - A_{508} \times 24501}{2709} (\mu\text{g} / \text{ml})$$

Donde:

$C^R$  = Fracción isocrómica roja

$C^Y$  = Fracción isocrómica amarilla

$A_{508}$  = Absorbancia a 508 nm

$A_{472}$  = Absorbancia a 472 nm

### 3.5.3 Análisis de Clorofila

Para el análisis del contenido de clorofila se pesaron tres gramos de tejido fresco, que se molieron en un mortero con 30 ml acetona al 85%. Se dejó reposar durante 24 horas. El extracto fue filtrado a través de papel filtro con una capa de sulfato de sodio anhidro. El líquido filtrado fue aforado a 100 ml con acetona. El contenido de

clorofila se cuantificó midiendo la absorbancia a 660 y 642.5 nm, como blanco se utilizó acetona (Santos-Moreno y Esparza-Torres, 1995).

Los resultados se reportaron como clorofila total, clorofila a y clorofila b los cuales fueron calculados con las siguientes fórmulas:

$$\text{clorofila total (mg / g)} = \frac{7.12 D.O_{660} + 16.8 D.O_{642.5}}{10m}$$

$$\text{clorofila a (mg / g)} = \frac{9.93 D.O_{660} - 0.777 D.O_{642.5}}{10m}$$

$$\text{clorofila b (mg / g)} = \frac{17.6 D.O_{642.5} - 2.81 D.O_{660}}{10m}$$

Donde:

$D. O_{660}$  = Absorbancia a 660 nm

$D. O_{642.5}$  = Absorbancia a 642.5 nm

$m$  = Cantidad de muestra (gramos)

### 3.5.4 Degradación del pigmento en oleoresina de páprika

Se colocaron 3 ml de oleoresina de páprika en 3 frascos ámbar con capacidad de 40 ml y se almacenaron a tres temperaturas: temperatura ambiente 22 C, 4 C y -70 C respectivamente, posteriormente se evaluó el contenido de carotenoides a los 0, 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días, tomando 0.010 ml de oleoresina de páprika aforando con 50 ml de acetona, se agitó y se tomó la lectura a 508 y 472 nm en un espectrofotómetro Marca Spectronic Mod. Genesys 5. Se realizaron las diluciones necesarias para mantener la absorbancia menor a la unidad. El contenido total de carotenoides se obtuvo usando las formulas descritas en el apartado 3.5.2.

### **3.5.5 Degradación del pigmento en polvo de páprika**

Se usaron 4 bolsas pequeñas de polietileno, en cada bolsa se colocaron 5 gramos de polvo de páprika, posteriormente una bolsa se almacenó a temperatura ambiente 22  C cubierta con papel aluminio (TA c/a), otra bolsa a temperatura ambiente 22  C, sin ser cubierta (TA s/a), las dos bolsas restantes fueron almacenadas a 4  C y -70  C respectivamente. Se evaluó el contenido de carotenoides después de 0, 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días. Para el análisis de carotenoides, en un matraz erlenmeyer se pesaron 0.25 gramos del polvo y se adicionaron 50 ml de acetona, esta mezcla se mantuvo en agitación durante 4 horas. El matraz fue cubierto con papel aluminio para evitar la degradación de los pigmentos con la luz. Se filtró el extracto y se ley  a 472 y 508 nm en un espectrofotómetro Marca Spectronic Mod. Genesys 5. Se realizaron las diluciones necesarias para mantener la absorbancia menor a la unidad. El contenido total de carotenoides se obtuvo usando las formulas descritas en el apartado 3.5.2.

### **3.5.6 Variables respuesta**

El experimento a diferentes temperaturas se realizó considerando como factor la misma con tres niveles (temperatura ambiente 22  C, 30  C y 35  C) y el estado de madurez con seis niveles (verde brillante, verde profundo, verde cambiante, rojo cambiante, rojo brillante y parcialmente seco).

Para el experimento de uso de etileno se considero al gas como factor con dos niveles ( $0 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$  y  $100 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ ).

En el experimento a diferentes temperaturas las variables respuesta se evaluaron a los 0 y 6 días. En el experimento a diferentes concentraciones de etileno se evaluaron en los 0, 3 y 6 días.

### **3.5.7 Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó por un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Los datos se analizaron mediante el Paquete Estadístico (SAS, 1997) versión 6.12. Se realizó análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Descripción de la carta de color de chile páprika

Existen diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de color L, a\*, b\*, C\* y h° registrados en los frutos cosechados en seis estados de madurez (Cuadros A1, A2, A3, A4 y A5). El valor de L fue mayor para los estados de madurez verde brillante y verde profundo registrando valores de 45.24 y 44.48, respectivamente. Este valor fue menor en los tres siguientes estados de madurez e incrementó nuevamente en los frutos en estado de parcialmente seco observando valores de 42.59. Los resultados encontrados indican que la luminosidad es mayor en el estado de madurez verde, disminuye con el cambio de color de verde a rojo e incrementa nuevamente cuando los frutos son de color rojo uniforme. Por otro lado, el parámetro a\* registro valores negativos en los estados de madurez de verde brillante y verde profundo de -5.30 y -3.22, respectivamente, sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre ellos; este valor se incrementó en los posteriores estados de madurez, hasta observar valores de 18.74. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores promedio de los parámetros de L, a\*, b\*, cromaticidad y ángulo de matiz en frutos de chile páprika en seis estados de madurez.

	Estado de madurez	L	a*	b*	C*	h°
1	Verde Brillante	45.24 <b>a</b>	-5.30 <b>c</b>	9.88 <b>a</b>	11.21 <b>c</b>	118.19 <b>a</b>
2	Verde Profundo	44.48 <b>ab</b>	-3.22 <b>c</b>	7.36 <b>b</b>	8.08 <b>d</b>	113.85 <b>a</b>
3	Verde Cambiante	41.71 <b>c</b>	1.52 <b>b</b>	4.25 <b>de</b>	4.76 <b>e</b>	71.56 <b>b</b>
4	Rojo Cambiante	40.87 <b>c</b>	4.24 <b>b</b>	3.49 <b>e</b>	5.53 <b>e</b>	39.82 <b>c</b>
5	Rojo Brillante	41.99 <b>c</b>	15.57 <b>a</b>	7.16 <b>cb</b>	20.06 <b>a</b>	20.86 <b>c</b>
6	Parcialmente Seco	42.59 <b>bc</b>	18.74 <b>a</b>	5.57 <b>cd</b>	16.54 <b>b</b>	19.69 <b>c</b>

Diferentes letras en una columna indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

El parámetro  $b^*$  presentó un patrón similar al del parámetro  $L$ , los valores disminuyeron progresivamente hasta el estado de madurez rojo cambiante, a partir de éste aumentan hasta los frutos parcialmente secos. Los valores de cromaticidad  $C^*$  calculados a partir de los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  mostraron también un comportamiento similar a  $L$ , en el estado de madurez verde brillante se registraron valores de 11.21, el cual disminuyó hasta valores de 4.76 en el grado de madurez verde cambiante, este valor se incrementó en los frutos rojo brillante y parcialmente seco observándose valores de 20.06 y 16.54, respectivamente.

Con respecto al ángulo de matiz ( $h^\circ$ ), los dos primeros estados de madurez presentaron valores superiores a  $90^\circ$ , que de acuerdo a McGuire, (1981), corresponde al color verde; a partir del estado de madurez 3, los valores de  $h^\circ$  fueron menores de  $90^\circ$  que corresponde al cuadrante de los tonos de color rojo. Los valores de  $h^\circ$  observados muestran la tendencia a disminuir en estados de madurez más avanzados; cabe mencionar que, el valor de  $h^\circ$  indicó diferencias estadísticamente significativas en tres estados de madurez (Cuadro 1).

De acuerdo a los datos de color se puede indicar que el valor de  $a^*$  y  $h^\circ$  son los parámetros más adecuados para evaluar los cambios de color durante la maduración del chile páprika ya que la tendencia de estos valores se relaciona con el estado de madurez de los frutos: el valor de  $a^*$  se incrementa con el estado de madurez, mientras que el valor de  $h^\circ$  tiene el efecto contrario. El parámetro  $b^*$  no esta directamente relacionado con la maduración, esto se puede explicar ya que éste parámetro mide tonos de color entre amarillo y azul. La tendencia de los valores de  $L$  y cromaticidad tampoco se relacionaron con los cambios de color durante la maduración de los frutos. Estos resultados no corresponden a lo reportado por Krajayklang y col., (2000), quienes mencionan que los valores de  $L$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$  detectaron los cambios generales de coloración en frutos de chile páprika cosechados en diferentes estados de madurez, también señalaron que  $C^*$  y  $h^\circ$  solo mostraron diferencias entre frutos en estado verde o parcialmente verde y frutos completamente rojos, mientras que  $L$  fue mejor para diferenciar la coloración entre los diferentes estados de madurez en el momento de cosechar.

Tomando como referencia los resultados obtenidos en este apartado de carta de color, en el resto del documento sólo se presentaran los resultados obtenidos de los datos de los parámetros  $a^*$  y  $h^\circ$ .

## **4.2. Efecto de la temperatura en el desverdizado de chile páprika**

Saltveit, (1997) indicó que para alcanzar una calidad adecuada del pigmento de chile páprika, se deberán procesar frutos completamente rojos. Dado que los frutos en una planta maduran de manera diferente dependiendo de la posición del fruto, la cantidad de luz a la que estn expuestos, etc., durante la cosecha se obtienen frutos en diferentes estados de madurez y es necesario realizar la cosecha en repetidas ocasiones lo que trae como consecuencia mayor inversión en mano de obra, o mayor consumo de soluciones de nutrientes cuando los frutos son cosechados en invernadero. Con el fin de homogenizar la maduración se ha buscado diversos tratamientos poscosecha para inducir la coloración del fruto, uno de estos tratamientos es la temperatura.

### **4.2.1 Parámetro de color $a^*$**

En el parámetro  $a^*$  en frutos de chile páprika en distintos estados de madurez, en el tiempo inicial, mostró que existen diferencias estadísticamente significativas con respecto al estado de madurez, mientras que no existe diferencia con respecto a temperatura (Cuadro A6), esto último indica que los frutos fueron aleatorizados en forma adecuada en el momento de distribuirlos en las tres diferentes temperaturas de almacenamiento.

En el Cuadro 2 se presenta el valor de  $a^*$  en frutos de chile en diferentes estados de madurez. El valor de  $a^*$  muestra una clara tendencia a incrementarse en estados de madurez más avanzados; sin embargo, el análisis estadístico indica la existencia de solo tres estados de madurez. Es importante mencionar que en el estado de madurez rojo cambiante se presentó la mayor desviación estándar e incluso hubo diferencia significativa entre las tres temperaturas, esta diferencia se

debe a que en un mismo fruto en este estado de madurez existieron áreas de diversas tonalidades entre verde y rojo. Para tener mayor reproducibilidad de valores se debe utilizar un equipo que mida el color sobre una mayor superficie del fruto (al menos tres centímetros de diámetro), sin embargo en este estudio sólo se contó con un equipo que evalúa el color sobre una superficie de un centímetro de diámetro.

A los siete días de almacenamiento a temperatura ambiente 22 °C, 30 y 35 °C, se encontró que el estado de madurez y la temperatura de almacenamiento son altamente significativos sobre el valor  $a^*$  del fruto, de igual forma la interacción de la temperatura y el estado de madurez también son estadísticamente significativos (Cuadro A7).

Cuadro 2. Valores promedio del parámetro  $a^*$  en el tiempo inicial en frutos de chile páprika en seis estados de madurez.

Estado de Madurez	Temperatura		
	Ambiente 22 °C	30 °C	35 °C
1 Verde brillante	-9.99 ± 0.6 <b>ef</b>	-10.3 ± 0.8 <b>ef</b>	-10.3 ± 0.6 <b>ef</b>
2 Verde profundo	-8.5 ± 0.9 <b>ef</b>	-9.4 ± 1.1 <b>ef</b>	-8.8 ± 1.0 <b>ef</b>
3 Verde cambiante	-4.9 ± 2.7 <b>ef</b>	-3.4 ± 1.2 <b>e</b>	-7.7 ± 1.0 <b>ef</b>
4 Rojo cambiante	4.3 ± 5.5 <b>d</b>	13.6 ± 10.7 <b>c</b>	21.3 ± 11.8 <b>b</b>
5 Rojo brillante	32.1 ± 2.8 <b>a</b>	30.5 ± 3.3 <b>a</b>	28.4 ± 6.7 <b>a</b>
6 Parcialmente seco	27.7 ± 1.8 <b>a</b>	28.0 ± 3.0 <b>a</b>	28.1 ± 2.5 <b>a</b>

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

El efecto de la temperatura independiente del estado de madurez se muestra en el Cuadro 3. En el día cero no existen diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes temperaturas. Después de siete días de almacenamiento los valores de  $a^*$  se incrementaron y este incremento fue dependiente de la temperatura. El mayor valor de  $a^*$ , y por lo tanto el mayor cambio de color de verde a rojo, se obtuvo en los frutos almacenados a temperatura ambiente 22 °C, seguido de los frutos almacenado a 30 °C, mientras que los frutos almacenados a 35 °C, son los que obtuvieron el menor cambio de color.

Cuadro 3. Valor promedio del efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el parámetro de color  $a^*$  en frutos de chile páprika.

Temperatura	Tiempo de almacenamiento (días)	
	0	7
Ambiente 22 C	8.49 <b>a</b>	18.98 <b>a</b>
30 C	8.18 <b>a</b>	13.93 <b>b</b>
35 C	6.80 <b>a</b>	10.15 <b>c</b>

Diferentes letras en una columna indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

A continuación se describen los efectos combinados de la temperatura y el estado de madurez sobre el parámetro  $a^*$ . Los frutos cosechados en los estados de madurez verde brillante y verde profundo y almacenados siete días a temperatura ambiente son los que presentan el mayor valor de  $a^*$  (Cuadro 4); sin embargo, también presentan la mayor desviación estándar lo cual indica la falta de homogeneidad en el color de los frutos, esto es indeseable ya que para tener la mayor calidad del pigmento se debe partir de frutos con color homogéneo. Los frutos cosechados en estados de madurez verde cambiante, rojo cambiante y rojo brillante son estadísticamente iguales lo que indica que los frutos en estado de verde cambiante y rojo cambiante tienen la capacidad para madurar adecuadamente en forma homogénea igualando la coloración de los frutos cosechados en estado rojo brillante.

Con respecto a la temperatura de 30 C, los frutos en estado de madurez verde profundo y verde cambiante mostraron los mayores valores de este parámetro (Cuadro 4) indicando la capacidad de maduración de estos frutos cuando fueron almacenados a 30 C. En general, los bajos valores de  $a^*$  observados a 35 C mostraron que esta temperatura no es adecuada para la maduración del chile páprika. Los frutos en estado de madurez verde brillante y verde profundo tuvieron los menores valores. Estos resultados coinciden con los observados por Krajaiklang y col., (2000), quienes reportaron que frutos cosechados en estado verde brillante y verde profundo, almacenados a 22 C, no pueden completar la

coloración roja después de cosechados, mientras que frutos cosechados en estado cambiante o más avanzado completan el cambio de coloración a rojo.

Cuadro 4. Valor promedio de  $a^*$  en frutos de chile páprika cosechados en seis estados de madurez y almacenados siete días a temperatura ambiente 22 °C, 30 y 35 °C.

Estado de Madurez		Temperatura		
		Ambiente 22 °C	30 °C	35 °C
1	Verde brillante	24.6 ± 4.3 <b>a</b>	9.5 ± 7.8 <b>f</b>	4.4 ± 5.3 <b>g</b>
2	Verde profundo	22.7 ± 8.6 <b>ab</b>	19.0 ± 2.5 <b>bc</b>	3.4 ± 4.4 <b>g</b>
3	Verde cambiante	20.26 ± 0.7 <b>abc</b>	16.2 ± 1.1 <b>cde</b>	13.1 ± 3.3 <b>def</b>
4	Rojo cambiante	17.7 ± 1.2 <b>bcd</b>	13.7 ± 0.8 <b>def</b>	13.5 ± 1.5 <b>def</b>
5	Rojo brillante	15.2 ± 0.7 <b>cde</b>	12.7 ± 0.8 <b>def</b>	13.6 ± 0.8 <b>def</b>
6	Parcialmente seco	13.4 ± 1.0 <b>def</b>	12.5 ± 0.8 <b>ef</b>	12.9 ± 0.8 <b>def</b>

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

#### 4.2.2 Parámetro de color $h^\circ$

El análisis de varianza del ángulo de matiz ( $h^\circ$ ) en frutos de chile páprika en distintos estados de madurez, en el tiempo inicial, muestra que existen diferencias estadísticamente significativas con respecto al estado de madurez, mientras que no existe diferencia con respecto a la temperatura (Cuadro A8).

El efecto de la temperatura sobre el valor  $h^\circ$ , independiente del estado de madurez, se muestra en el Cuadro 5. En el día cero el valor de  $h^\circ$  estuvo en un intervalo de 72 a 76 ° y no hubo diferencia entre las distintas temperaturas. Después de 7 días de almacenamiento este parámetro disminuyó en mayor proporción en frutos almacenados a temperatura ambiente y 30 °C en comparación de los frutos almacenados a 35 °C. Lo que indica que esta última temperatura fue la menos adecuada para la maduración de los frutos. Los resultados observados con este parámetro de color son similares a los observados con el parámetro  $a^*$  descrito en el apartado anterior (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valor promedio del efecto de temperatura de almacenamiento sobre el parámetro de color  $h^\circ$  en frutos de chile páprika.

Temperatura	Tiempo de almacenamiento (días)	
	0	7
Ambiente 22 °C	76° <b>a</b>	24° <b>b</b>
30 °C	72° <b>a</b>	25° <b>b</b>
35 °C	73° <b>a</b>	36° <b>a</b>

Diferentes letras en una columna indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

El efecto combinado del estado de madurez y la temperatura sobre el valor  $h^\circ$  de los frutos se muestra en los Cuadros 6 y 7. El Cuadro 6 indica la comparacion de medias del valor de  $h^\circ$  para frutos en diferentes estados de madurez en el tiempo inicial. Al igual que en el parametro de color  $a^*$ , el analisis de los valores de  $h^\circ$  muestra tres estados de madurez, en este parametro tambien se encontro una alta variabilidad en el estado de madurez rojo cambiante.

Cuadro 6. Valor promedio de  $h^\circ$  en el tiempo inicial en frutos de chile páprika en seis estados de madurez.

Estado de madurez	Temperatura		
	Ambiente 22 °C	30 °C	35 °C
1 Verde brillante	115 ± 1.7 <b>a</b>	115 ± 1.6 <b>a</b>	114 ± 2.5 <b>a</b>
2 Verde profundo	118 ± 1.9 <b>a</b>	117 ± 2.4 <b>a</b>	119 ± 2.11 <b>a</b>
3 Verde cambiante	107 ± 9.7 <b>a</b>	105 ± 5.2 <b>a</b>	114 ± 3.4 <b>a</b>
4 Rojo cambiante	65 ± 27 <b>b</b>	45.6 ± 23 <b>c</b>	39 ± 22 <b>cd</b>
5 Rojo brillante	27.3 ± 1 <b>d</b>	27.8 ± 1.3 <b>d</b>	28 ± 3.8 <b>d</b>
6 Parcialmente seco	25 ± 0.7 <b>d</b>	24.6 ± 1.1 <b>d</b>	26 ± 1.2 <b>d</b>

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Despues de siete días de almacenamiento, los frutos cosechados en los estados de madurez verde brillante y verde profundo mostraron incapacidad para madurar cuando fueron almacenados a 35 °C. Lo mismo ocurrio con los frutos cosechados en estado verde brillante y que fueron almacenados a 30 °C. Para el resto de los

tratamientos no hubo diferencia significativa entre ellos lo que indica que, de acuerdo a este parámetro su maduración fue adecuada. Nuevamente, se destaca que los frutos cosechados en estado de madurez verde brillante y verde profundo son los que presentan la mayor desviación estándar. Krajayklang y col., (2000), reportaron que el ángulo de matiz de los frutos cosechados en estado de madurez verde y después del almacenamiento, fue de 69, lo cual lo asociaron con una coloración amarilla; por otro lado, los frutos cosechados en un estado de madurez rojo mostraron valores de  $h^\circ$  de 51. Estos valores son mayores a los observados en este estudio, a temperaturas ambiente en los seis estados de madurez y a 30 °C en todos los estados de madurez excepto el estado verde brillante que presentó un valor de 55 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valor promedio de  $h^\circ$  en frutos de chile páprika cosechados en seis estados de madurez y almacenados siete días a temperatura ambiente 22 °C, 30 y 35 °C.

Estado de Madurez	Temperatura		
	Ambiente 22 °C	30 °C	35 °C
1 Verde brillante	30 ± 9.5 <b>b</b>	55 ± 25.5 <b>a</b>	70 ± 23.5 <b>a</b>
2 Verde profundo	32 ± 19 <b>b</b>	23 ± 1.4 <b>b</b>	64 ± 37.4 <b>a</b>
3 Verde cambiante	22 ± 0.58 <b>b</b>	23 ± 2.9 <b>b</b>	22 ± 0.6 <b>b</b>
4 Rojo cambiante	21 ± 0.3 <b>b</b>	19 ± 0.8 <b>b</b>	20 ± 0.53 <b>b</b>
5 Rojo brillante	20 ± 0.5 <b>b</b>	20 ± 0.9 <b>b</b>	20 ± 1.4 <b>b</b>
6 Parcialmente seco	21 ± 0.7 <b>b</b>	19 ± 0.9 <b>b</b>	21 ± 0.6 <b>b</b>

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

#### 4.2.3 Carotenoides

Los pigmentos de carotenoides son los responsables de los atractivos colores de las frutas y las flores, teniendo un importante papel para atraer a los animales y actuar como vehículos para la polinización y la dispersión de la semilla, incluyendo en este proceso el consumo de alimentos por humanos (Hornero-Méndez y col., 2000).

Los frutos de *C. annuum* deben su intenso color rojo a los pigmentos de carotenoides que son sintetizados masivamente durante la maduración del fruto. Entre estos, los carotenoides, principalmente responsables del color rojo final de los frutos son la capsantina, capsorubina y capsantina 5,6-epoxido, los cuales son casi exclusivamente del género *Capsicum* (Mínguez-Mosquera y Hornero-Méndez, 1994). En los organismos fotosintéticos, los carotenoides están siempre presentes en los complejos pigmento-proteína de los fotosistemas donde estos cosechan la luz y transfieren la energía a las clorofilas, además tienen un papel importante como fotoprotectores de las moléculas de clorofila (Frank y Cogdell, 1993).

Todos los pigmentos de carotenoides presentes en el fruto del chile son isoprenoides C40 y contienen nueve dobles enlaces conjugados en la cadena polienica central, aunque con diferentes grupos terminales ( $\beta$ ,  $\epsilon$ ,  $k$ , 3-hidroxi-5,6-epoxido), lo cual cambia las propiedades cromóforas de cada pigmento permitiendo clasificarlos en dos familias isocrómicas: roja y amarilla. La fracción roja (fr) contiene los pigmentos exclusivos a los frutos del genero *Capsicum* (Capsantina, capsantina-5,6-epoxido y capsorubina), y la fracción amarilla (fa) comprende el resto de los pigmentos (zeaxantina, violaxantina, anteraxantina,  $\beta$ -criptoxantina,  $\beta$ -caroteno y cucurbitaxantina A), los cuales actúan como precursores de la fracción roja (Britton, 1988). De estos compuestos la capsantina constituye alrededor del 40% del total de carotenoides presentes, el  $\beta$ - caroteno el 20% y la capsorubina el 10% (Simpson y Chichester, 1981).

El análisis de varianza indicó que el estado de madurez, la temperatura así como la interacción entre ellos fueron altamente significativos en el contenido de carotenoides correspondientes a la fracción roja presente en los frutos de chile páprika después de siete días de almacenamiento (Cuadro A9).

El efecto de la temperatura sobre el contenido de carotenoides, independientemente del estado de madurez, se presenta en el Cuadro 8. El mayor contenido de carotenoides se encontró en los frutos almacenados a 30 °C (18.33 mg·g<sup>-1</sup>), seguido los de 35 °C (15.98 mg·g<sup>-1</sup>) y por último los de temperatura ambiente (15.29 mg·g<sup>-1</sup>), existiendo diferencia significativa entre los valores.

Cuadro 8. Valor promedio del efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de carotenoides (fracción roja) en frutos de chile páprika.

Temperatura	Carotenoides fracci3n roja (mg•g <sup>-1</sup> )
Ambiente 22 C	15.29 <b>c</b>
30 C	18.33 <b>a</b>
35 C	15.98 <b>b</b>

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa (P≤0.05).

El contenido de carotenoides correspondiente a la fracci3n roja en chile páprika despu3s de siete días de almacenamiento estuvo relacionado con el estado de madurez de los frutos en el momento de cosechar, a mayor estado de madurez mayor contenido de carotenoides (Cuadro 9). (Hornero- Mendez y col., 2000), estudiaron los cambios en los carotenoides en cinco variedades de chile páprika: Mana, Numex, Belrubi, Delfín y Negral, estos autores indicaron que el β-caroteno, la anteraxantina y la violaxantina incrementaron su concentraci3n y otros pigmentos fueron sintetizados de *novo* como la zeaxantina, β-criptoxantina, capsantina, capsorubina, capsantina-5,6-epoxido y cucurbitaxantina A. Por otro lado, la luteína y neoxantina, ambos pigmentos característicos de los cloroplastos, disminuyeron su concentraci3n durante la maduraci3n y eventualmente desaparecieron.

Por otro lado, Krajayklang y col., (2000) indicaron que no hubo diferencia en la intensidad del color extraíble entre los frutos rojo profundo y parcialmente seco, lo mismo ocurri3 con la diferencia en la intensidad del color extraíble de los frutos cosechados en estado verde y verde profundo (en ambos estados de madurez la concentraci3n fue baja). Los frutos cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante, aunque visualmente tuvieron un color rojo profundo, tuvieron un color extraíble reducido, los resultados indicados por estos autores coinciden con lo que se observ3 en los frutos de chile páprika ya que se observaron pocos cambios en el color sin embargo en el color extraído hubo una mayor diferencia que estuvo relacionada con el estado de madurez de los frutos en el momento de cosechar y con la temperatura de almacenamiento.

En cuanto al contenido de carotenoides que integran la fracción amarilla, el análisis de varianza indica que la temperatura y el estado de madurez así como la interacción entre ellos son altamente significativos (Cuadro A10).

El contenido de carotenoides de la fracción amarilla fue menor en comparación con la fracción roja (Cuadros 8 y 10). Evaluando el efecto de la temperatura, independientemente del estado de madurez, se observa que las temperaturas ambiente 22 °C y 30 °C indujeron un mayor contenido de carotenoides correspondientes a la fracción amarilla.

Cuadro 9. Valor promedio del contenido de carotenoides que corresponden a la fracción roja en frutos de chile páprika después de siete días de almacenamiento.

Estado de Madurez	Temperatura		
	Ambiente 22 °C (mg•g <sup>-1</sup> )	30 °C (mg•g <sup>-1</sup> )	35 °C (mg•g <sup>-1</sup> )
1 Verde brillante	5.47± 0.1 i	4.81 ± 0.8 i	1.69± 0.1 j
2 Verde profundo	5.94± 0.05 i	8.82 ± 0.2 h	4.66± 0.1 i
3 Verde cambiante	12.13 ± 0.2 g	16.58 ± 0.9 e	14.81 ± 0.8 f
4 Rojo cambiante	17.87 ± 0.2 e	22.58 ± 0.4 c	19.97 ± 0.2 d
5 Rojo brillante	25.23 ± 0.4 b	25.00 ± 0.7 b	22.5 ± 0.9 c
6 Parcialmente seco	25.12 ± 0.4 b	32.09 ± 0.2 a	32.3 ± 1.5 a

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

En el Cuadro 11 se muestra el contenido de carotenoides que corresponde a la fracción amarilla en frutos de chile páprika cosechados en diferentes estados de madurez y almacenados siete días a distintas temperaturas. Al igual que en la fracción roja el contenido de carotenoides en la fracción amarilla estuvo relacionado en forma directa con el estado de madurez.

Cuadro 10. Valor promedio del efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de carotenoides (fracción amarilla) en frutos de chile páprika.

Temperatura	Carotenoides fracci3n amarilla (mg•g <sup>-1</sup> )
Ambiente 22 C	12.17 <b>a</b>
30 C	11.84 <b>a</b>
35 C	9.00 <b>b</b>

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Como conclusi3n parcial se tiene que el contenido de carotenoides que corresponde a las fracciones roja y amarilla mostr3 que los frutos cosechados en los estados de madurez verde cambiante y rojo cambiante son capaces de madurar adecuadamente; sin embargo aún a la temperatura más adecuada (30 C) no alcanzan valores similares a los frutos que fueron cosechados en los estados de madurez rojo brillante o parcialmente secos.

Cuadro 11. Valor promedio del contenido de carotenoides que corresponden a la fracci3n amarilla en frutos de chile páprika despu3s de siete días de almacenamiento.

Estado de Madurez	Temperatura		
	Ambiente 22 C (mg•g <sup>-1</sup> )	30 C (mg•g <sup>-1</sup> )	35 C (mg•g <sup>-1</sup> )
1 Verde brillante	3.36 ± 0.20 <b>ij</b>	0.08 ± 0.05 <b>k</b>	1.28 ± 0.05 <b>jk</b>
2 Verde profundo	3.93 ± 0.15 <b>hij</b>	4.41 ± 0.15 <b>ghi</b>	2.05 ± 0.09 <b>jk</b>
3 Verde cambiante	8.22 ± 0.38 <b>fg</b>	8.84 ± 0.22 <b>f</b>	6.99 ± 0.16 <b>fgh</b>
4 Rojo cambiante	14.09 ± 0.10 <b>e</b>	14.44 ± 1.48 <b>e</b>	9.90 ± 0.26 <b>f</b>
5 Rojo brillante	19.58 ± 0.41 <b>bc</b>	19.78 ± 0.07 <b>bc</b>	15.33 ± 0.31 <b>de</b>
6 Parcialmente seco	23.83 ± 0.78 <b>a</b>	22.46 ± 0.25 <b>ab</b>	18.45 ± 1.15 <b>cd</b>

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

#### 4.2.4 Clorofila

El principal cambio en frutos y vegetales verdes durante su almacenamiento es la pérdida del color verde brillante debido a la degradación de las clorofilas o las feofitinas (Buckle y Edwards, 1970).

El estado de madurez, la temperatura de almacenamiento y la interacción de estos dos factores tiene un efecto altamente significativo sobre el contenido de clorofila en frutos de chile paprika cosechados en diferentes estados de madurez y almacenados siete días a diferentes temperaturas (Cuadro A11).

La comparacion de medias del contenido de clorofila en los tratamientos a las distintas temperaturas, muestra que, independientemente del estado de madurez, la temperatura tuvo un efecto sobre el contenido de clorofila, observandose la mayor degradacion en las muestras almacenadas a temperatura ambiente 22 C, seguidas de las muestras a 30 C y por ultimo las 35 C (Cuadro 12), estos resultados concuerdan con los reportados por Buckle y Edwards, (1970) quienes indicaron que el grado de conversion de las clorofilas esta afectado por factores como la temperatura y el pH. Por su parte, Lin (1991), indico que el grado de afectacion de las clorofilas depende de la cantidad de ácidos liberados o formados durante el almacenamiento, siendo los principales ácidos el acetico y el pirrolidon-carboxilico.

Cuadro 12. Valor promedio del efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de clorofila en frutos de chile paprika.

Temperatura	Clorofila (mg•g <sup>-1</sup> )
Ambiente 22 C	0.0924 <b>c</b>
30 C	0.1243 <b>b</b>
35 C	0.1343 <b>a</b>

Letras diferentes indican diferencia estadistica significativa (P≤0.05).

En el Cuadro 13 se indica el contenido total de clorofila en frutos de chile páprika cosechados en diferentes estados de madurez y almacenados siete días a distintas temperaturas. En muestras almacenadas a temperatura ambiente, el contenido de clorofila se encontró en un intervalo de 0.04 a 0.13 mg•g<sup>-1</sup>, mientras que a la temperatura de 35 °C se observaron valores más altos en un intervalo de 0.06 a 0.3126 mg•g<sup>-1</sup>, lo que demuestra que a esta última temperatura los frutos presentan una menor capacidad para degradar a la clorofila. Es destacable que los frutos verde brillante almacenados a temperatura ambiente muestran valores de clorofila similares al obtenido en los frutos cosechados parcialmente secos, esto nos indica que la diferencia en la coloración del fruto se debe a la capacidad que tiene el tejido para sintetizar carotenoides más que a la capacidad que tiene para degradar la clorofila.

Cuadro 13. Valor promedio del contenido de clorofila total en frutos de chile páprika cosechados en seis estados de madurez y almacenados siete días a temperatura ambiente 22 °C, 30 y 35 °C.

Estado de Madurez	Temperatura		
	Ambiente 22 °C (mg•g <sup>-1</sup> )	30 °C (mg•g <sup>-1</sup> )	35 °C (mg•g <sup>-1</sup> )
1 Verde brillante	0.0613 ± <b>gh</b> 0.0102	0.1903 <b>b</b> ± 0.0100	0.1206 <b>de</b> ± 0.0100
2 Verde profundo	0.0436 ± <b>h</b> 0.0032	0.1236 <b>cde</b> ± 0.0055	0.3116 <b>a</b> ± 0.0104
3 Verde cambiante	0.1030 ± <b>ef</b> 0.0112	0.1410 <b>cd</b> ± 0.0095	0.1030 <b>ef</b> ± 0.0026
4 Rojo cambiante	0.1330 ± <b>cd</b> 0.0060	0.1500± <b>c</b> 0.0100	0.1310 <b>cd</b> ± 0.0020
5 Rojo brillante	0.1330 ± <b>de</b> 0.0060	0.0703 <b>hg</b> ± 0.0100	0.0606 <b>gh</b> ± 0.0100
6 Parcialmente seco	0.0803 ± <b>fg</b> 0.0100	0.0706 <b>g</b> ± 0.0100	0.0786 <b>fg</b> ± 0.0102

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa (P≤0.05).

### 4.3 Efecto de etileno en el desverdizado de chile páprika

La cosecha mecánica del chile es más eficiente que la cosecha manual; sin embargo por este método se obtienen frutos en estados de madurez diferentes, algunos frutos muy inmaduros diluyen la intensidad del color rojo del pigmento en el producto procesado, lo que disminuye la calidad final del producto (Kahn y col., 1997). Una forma de homogenizar la maduración es, además del uso de la temperatura, el uso del etileno. Este compuesto ha dado resultados variables cuando es aplicado en precosecha dependiendo del cultivar, el número de aplicaciones y la temperatura.

El etileno es muy utilizado para adelantar la maduración en frutos, apresura la degradación de la clorofila y la biosíntesis de carotenoides. Stewart y Wheaton, (1971), mencionan que el aumento de color en cítricos tratados con etileno es debido a la acumulación de carotenoides, que contribuyen al color rojo, siendo el tratamiento de etileno más efectivo en frutos en estados de madurez más avanzados.

#### 4.3.1 Parámetro de color $a^*$

El efecto de etileno se evaluó en frutos cosechados en los estados de madurez verde cambiante y rojo cambiante. En el tiempo inicial se observó diferencia clara en el valor de  $a^*$  de los frutos en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante (Cuadro 14). Después de tres días de almacenamiento, el valor de  $a^*$  se incrementó observándose el mayor valor en los frutos verde cambiante que fueron tratados con  $100 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$  de etileno (valor de 20.12). Después de seis días de almacenamiento, en ambos estados de madurez, no se observaron diferencias significativas entre los frutos tratados con etileno y el control. Resultados similares fueron reportados por Krajayklang y col., (2000) quienes evaluaron el efecto de la aplicación de etileno en muestras de chile páprika, encontrando que el etileno no tuvo efecto sobre el desarrollo del color o pungencia de estos frutos (la aplicación se realizó a  $22^\circ\text{C}$ ). Estos mismos autores añaden que los frutos cosechados en estado de madurez verde brillante y verde profundo fueron incapaces de

desarrollar el color rojo, mientras que los frutos que fueron cosechados en el estado de madurez verde cambiante o en estados de madurez más avanzados desarrollaron el color rojo después de 7-9 días. Sin embargo, la intensidad del color del polvo fue menor en todos los frutos que no desarrollaron el color rojo antes de ser cosechados.

Resultados similares a los encontrados en este estudio con frutos de chile páprika se han reportado en otras clases de chile como el pimiento verde Knavel y Kemp, (1973), o el chile bell Lockwood y Vines, (1972) que después de ser tratados con etileno  $500 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$  no mostraron diferencia de color con respecto a los frutos no tratados. (Lockwood y Vines, 1972) sugirieron que la delgada cutícula de los frutos sirvió como una barrera para prevenir la acción del etileno. Sin embargo, en estudios posteriores, Krajayklang y col., (2000) observaron un alto nivel de etileno en el interior del tejido indicando que el etileno es capaz de atravesar la cutícula.

Cuadro 14. Valor promedio del parámetro de color  $a^*$  en frutos de chile páprika cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante y almacenados a concentraciones de 0 y  $100 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ , durante 0, 3 y 6 días.

Estado de madurez	Concentración de etileno ( $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ )	Tiempo de almacenamiento (días)		
		0	3	6
Verde cambiante	0	-5.55 <b>b</b>	17.96 <b>b</b>	16.79 <b>ab</b>
	100	-3.45 <b>b</b>	20.12 <b>a</b>	17.68 <b>a</b>
Rojo cambiante	0	15.11 <b>a</b>	17.76 <b>b</b>	15.43 <b>b</b>
	100	16.31 <b>a</b>	17.21 <b>b</b>	14.92 <b>b</b>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

### 4.3.2 Parámetro de color $h^\circ$ .

Al inicio del experimento y después de tres días, el ángulo de matiz fue diferente entre los estados de madurez verde cambiante y rojo cambiante. Después de tres días no se observó efecto del etileno sobre este parámetro de color. A los seis días de almacenamiento, hubo diferencia significativa entre los frutos control y los tratados con etileno que fueron cosechados en estado de madurez verde cambiante, indicando el mayor cambio de color de los frutos tratados con etileno (menor valor de  $h^\circ$ ). En el estado de madurez rojo cambiante no se observó el efecto del uso del etileno (Cuadro 15).

### 4.3.3 Carotenoides

El contenido de carotenoides correspondientes a la fracción roja de frutos de chile páprika en estado de madurez verde cambiante después de almacenados 3 días con etileno y 3 días en aire fue de  $20.37 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , mientras que los frutos almacenados solamente en aire mostraron un contenido de carotenoides para la misma fracción de  $16.02 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  lo que representa el 27.21 % más, respecto de los frutos no tratados. En frutos en estado de madurez rojo cambiante almacenados con aire durante 6 días el contenido de carotenoides de la fracción roja fue mayor que los frutos del estado de madurez verde cambiante con valores de  $21.18 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ; por otro lado, los frutos tratados con etileno de este mismo estado de madurez mostraron valores de  $28.84 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  lo que representa el 36.2% más del contenido de pigmentos de la fracción roja (Cuadro 16).

Cuadro 15. Valor promedio del parámetro de color  $h^{\circ}$  en frutos de chile páprika cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante y almacenados en 0 y 100  $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$  de etileno durante 0, 3 y 6 días.

Estado de madurez	Concentraci3n de etileno ( $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ )	Tiempo de almacenamiento (días)		
		0	3	6
Verde cambiante	0	108.00	23.44 <b>a</b>	23.53 <b>a</b>
Verde cambiante	100	103.20	23.54 <b>a</b>	20.51 <b>b</b>
Rojo cambiante	0	38.32 <b>b</b>	21.23 <b>b</b>	19.93 <b>bc</b>
Rojo cambiante	100	37.43 <b>b</b>	21.09 <b>b</b>	19.37 <b>c</b>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ( $P\leq 0.05$ ).

Cuadro 16. Valor promedio del contenido de carotenoides (fracci3n roja) en frutos de chile páprika cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante y almacenados 6 días a 30°C y en concentraciones de 0 y 100  $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$  de etileno.

Estado de madurez	Concentraci3n de etileno ( $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ )	Carotenoides Fracci3n roja ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )
Verde cambiante	0	16.0273 <b>c</b>
Verde cambiante	100	20.3790 <b>b</b>
Rojo cambiante	0	21.1830 <b>b</b>
Rojo cambiante	100	28.8447 <b>a</b>

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P\leq 0.05$ ).

Con respecto a los carotenoides que corresponden a la fracci3n amarilla, el contenido total de esta fracci3n es menor que los carotenoides de la fracci3n roja. El contenido de carotenoides de los frutos en estado de madurez verde cambiante sometidos al tratamiento con etileno fue de 15.514  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , mientras que los frutos control fue de 8.252  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , lo que representa un 88% mayor (Cuadro 17). Por otro lado, el contenido de carotenoides en los frutos en estado de madurez rojo

cambiante tratados con etileno fue de 21.635 mg•g<sup>-1</sup>, que comparado con los valores de los frutos control en este mismo estado de madurez (13.149 mg•g<sup>-1</sup>) representa un 64.53% mayor (Cuadro 17). Estos resultados difieren a los reportados por Krajaiklang y col., (2000), quienes indicaron que la concentración del color extraíble en el pigmento de chile páprika no fue afectada por la aplicación del etileno. La diferencia en los resultados puede deberse a las diferentes temperaturas en las que se almacenaron los frutos, en este estudio (30°C) y en la referencia citada fue de 22 °C.

Por otro lado, estos resultados, coinciden con lo señalado por Almela y col., (1996), estos autores señalan que los carotenoides están situados tanto en los cloroplastos como en el complejo para cosechar la luz y durante la maduración hay acumulación de carotenoides, aunque no siempre en la misma cantidad. La luteína, la principal xantofila en las plantas verdes, disminuye y aún puede desaparecer mientras que el contenido de epoxixantfilas incrementa progresivamente. Estos cambios están relacionados con la transformación de cloroplastos en cromoplastos. Puntualizaron además que en la maduración de los frutos de chile hay una acumulación importante de cetocarotenoides, algunos de ellos específicos tales como capsantina, capsorubina o criptocapsina.

Cuadro 17. Valor promedio del contenido de carotenoides (fracción amarilla) en frutos de chile páprika cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante y almacenados 6 días en concentraciones de 0 y 100  $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ .

Estado de madurez	Concentración de etileno ( $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ )	Carotenoides Fracción amarilla (mg•g <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>
Verde cambiante	0	8.252 <b>d</b>
Verde cambiante	100	15.514 <b>b</b>
Rojo cambiante	0	13.149 <b>c</b>
Rojo cambiante	100	21.635 <b>a</b>

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P\leq 0.05$ ).

#### 4.3.4 Clorofila

Gómez y col., (1998) indicaron que el contenido de clorofila en frutos de chile páprika disminuyó progresivamente durante el proceso de maduración al mismo tiempo que evolucionó la coloración del fruto hacia un color rojo uniforme. Sin embargo además de estos factores también están involucrados otros factores adicionales, tales como otras hormonas o la suficiencia de precursores de los pigmentos, que interactúan con el etileno para inducir un cambio completo de color de verde a rojo profundo (Krajayklang y col., 2000). En la maduración del chile, los cambios ultraestructurales están acompañados de la transformación de cloroplastos a cromoplastos ricos en carotenoides (Almela y col., 1996).

El uso de etileno fue estadísticamente significativo en el contenido de clorofila de frutos de chile páprika cosechados en los estados de madurez verde cambiante y rojo cambiante, y almacenados a 30 °C bajo una corriente de 0 y 100  $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$  de etileno. Los frutos en estado de madurez verde cambiante almacenados en aire (0  $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$  de etileno) mostraron un contenido de clorofila de 0.625  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , mientras que en los frutos tratados con etileno fue de 1.897  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ . Resultados similares se observaron en los frutos en el estado de madurez rojo cambiante en el que los frutos control mostraron menor contenido de clorofila comparados con los frutos tratados con etileno (Cuadro 18).

Almela y col. (1996), compararon el contenido de clorofila durante la maduración de dos variedades de chile páprika Bola y Negral. Estas dos variedades mostraron comportamientos diferentes. En la variedad Bola la clorofila desapareció completamente cuando el fruto completó su maduración; sin embargo la variedad Negral retuvo casi el 14% de la clorofila que se encontró en el estado de madurez verde, en ambas variedades hubo cambio de coloración de verde a rojo. Al igual que en el experimento de efecto de la temperatura, los resultados del contenido de clorofila encontrados indican que el cambio de coloración en los frutos de chile páprika esta más relacionado con la síntesis de carotenoides que con la degradación de las clorofilas.

Cuadro 18. Valor promedio del contenido de clorofila en frutos de chile páprika cosechados en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante y almacenados 6 días en concentraciones de 0 y 100  $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ .

Estado de madurez	Concentraci3n de etileno ( $\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ )	Clorofila ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )
Verde cambiante	0	0.625 <b>d</b>
Verde cambiante	100	1.897 <b>a</b>
Rojo cambiante	0	0.841 <b>c</b>
Rojo cambiante	100	1.211 <b>b</b>

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P\leq 0.05$ ).

#### 4.4 Extracci3n del pigmento utilizando diferentes solventes

Dependiendo de la manera en que el chile páprika es procesado, se pueden obtener dos formas comerciales de concentrado de carotenoides: la páprika en polvo y la oleorresina.

Para la elaboraci3n de la páprika en polvo se requiere de las operaciones de secado y molido. Sin embargo, la oleorresina, además de estas dos operaciones, incluye también la extracci3n con un solvente orgánico, el cual deberá ser removido después de la extracci3n. Este último paso requiere un tratamiento térmico para la remoci3n de los residuos del solvente. El calentamiento produce una serie de reacciones como son la isomerizaci3n y las reacciones de degradaci3n de los carotenoides (Govindarajan, 1986). Pérez-Gálvez y col., (1999), indicaron que la fracci3n isocr3mica roja –formada por la capsantina y la capsorubina- es más estable que la fracci3n isocr3mica amarilla. Entonces, el rendimiento y la estabilidad de los carotenoides en la oleorresina depende de las condiciones de extracci3n, en particular del tipo de solvente utilizado y la temperatura utilizada para su remoci3n.

El cuadro A13 muestra que el tipo de solvente es altamente significativo en el rendimiento de la oleorresina. El mayor rendimiento se obtuvo con el etanol (39.5 %), seguido de la acetona (33.25%), y el hexano (20.75 %); por último el solvente con el que se obtuvo menor rendimiento fue el éter de petróleo (6.62 %) (Cuadro 19). El rendimiento aquí obtenido es mayor al reportado por Jarén-Galán y col., (1999), quienes indicaron que la oleorresina de p  prika extra  da por el m  todo de soxhlet utilizando como solvente la acetona produjo un rendimiento del 15.6%, mientras que utilizando hexano el rendimiento fue del 9.4%.

Cuadro 19. Valor promedio del rendimiento de oleorresina de chile p  prika obtenida con diferentes solventes.

Solvente	Oleorresina (%)
Etanol	39.50 <b>a</b>
Acetona	33.25 <b>b</b>
Hexano	20.75 <b>c</b>
��ter de petr��leo	6.62 <b>d</b>

Letras diferentes indican diferencia estad  stica significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Los carotenoides est  n formados por carotenos y xantofilas, ambos grupos son insolubles en agua, pero estas   ltimas son m  s hidrof  licas que los carotenos, es por esto que cada solvente arrastra del polvo del chile p  prika diferente proporci  n de compuesto polares y no polares. Las xantofilas contienen un grupo radical -OH al final de su estructura, lo que les permite formar enlaces puente de hidr  geno con otros compuestos polares o parcialmente polares.

El contenido de carotenoides en el recuperado del extracto mostr   que la acetona es el solvente que arrastra mayoritariamente los carotenoides presentes en el polvo del chile p  prika mas que los otros tres solventes, siendo de  $83.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  de carotenoides considerando conjuntamente la fracci  n roja y amarilla (Cuadro 20), con hexano se obtuvo un total de  $31 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  de carotenoides y con   ter de petr  leo

alrededor de  $33 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  de carotenoides, esto refleja que la acetona tuvo mayor eficiencia en arrastre de carotenoides que el etanol, a pesar de que este último tuvo mayor rendimiento, esto puede deberse a la limitada disposición del etanol para arrastrar compuestos no polares y en su mayoría arrastrar otros compuestos polares como pectinas y carbohidratos. Jarén-Galán y col., (1999), reportaron concentraciones de  $26.3$  y  $38.6 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  para la oleorresina obtenida con acetona y hexano, respectivamente, lo que representa concentraciones más bajas que las aquí obtenidas.

Cuadro 20. Valor promedio del contenido de carotenoides (fracción roja) obtenido con diferentes solventes.

Solvente	Carotenoides	
	Fracción roja ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Fracción amarilla ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )
Etanol	10.543 <b>c</b>	9.965 <b>c</b>
Acetona	41.722 <b>a</b>	42.115 <b>a</b>
Hexano	12.928 <b>c</b>	17.951 <b>b</b>
Éter de petróleo	15.808 <b>b</b>	16.712 <b>b</b>

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

La más baja concentración del pigmento en la oleorresina obtenida por el método de Soxhlet con etanol comparada con las oleorresinas obtenidas con acetona puede ser debido a que el etanol extrae otros compuestos lipofílicos que actúan como diluyentes de las oleorresinas.

#### 4.5 Degradación del pigmento en oleorresina de páprika

La oleorresina que fue almacenada a  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  fue la que mejor mantuvo la calidad del pigmento, en particular en los primeros 45 días, ya que tan solo sufrió un deterioro del 2 % (Figura 4), a los 60 días de almacenamiento fue mayor la degradación, ya que hubo un descenso de  $5.93\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  de carotenoides, de los  $6.49\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  evaluados en el día cero, a los 75 y 90 días tan solo hubo una retención de color del 63 y 61 % respectivamente. Para el tratamiento de oleorresina almacenada a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  descendí la calidad del pigmento hasta un 56.7 %. Por último para el tratamiento de oleorresina almacenada a temperatura ambiente  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la retención de la calidad del pigmento fue sólo del 32.6 % después de 90 días.

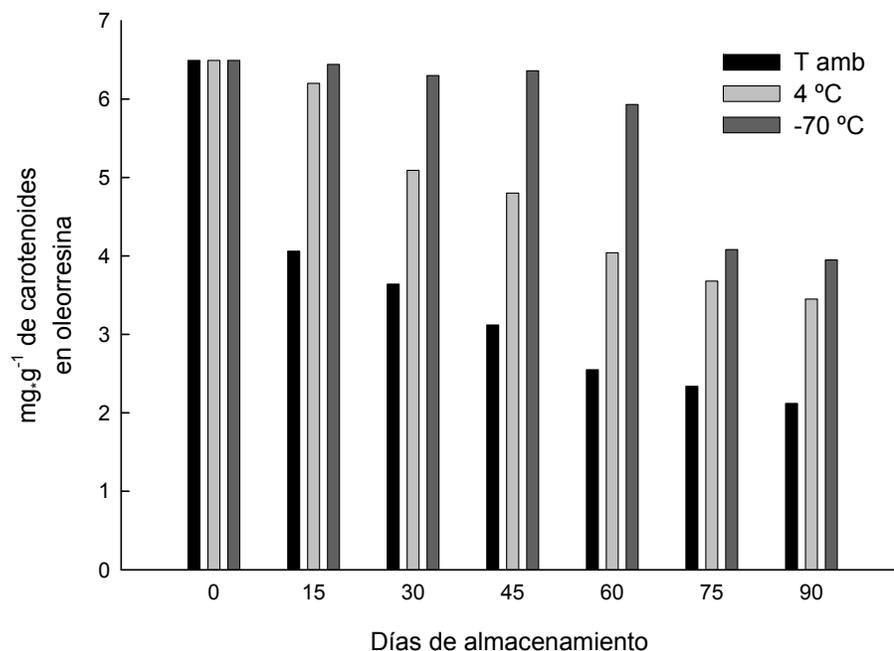


Figura 4. Degradación de carotenoides en oleorresina de Chile páprika almacenada durante 90 días

Pérez-Gálvez y col., (2000) mencionan que mientras más se incrementa la temperatura, el efecto de degradación empieza a incrementarse, ya sea en el proceso de obtención de la oleorresina o a la temperatura que es almacenada.

La calidad inicial de la oleoresina depende de dos factores principalmente, la calidad de los frutos y la técnica de extracción empleada (Jarén-Galán y col., 1999). Si las condiciones de degradación son menos agresivas (baja temperatura) las reacciones de oxidación de los carotenoides son más lentas, perdurando por más tiempo la calidad del pigmento (Pérez-Gálvez y col., 2000).

#### **4.6 Degradación del pigmento en polvo de paprika**

En el día cero el contenido de carotenoides para los 4 tratamientos fue de 23.92 mg•g<sup>-1</sup>, la mejor retencion del color se registro para el polvo que fue almacenado a -70 C, ya que en la cuantificacion en el día 90 fue de 14.24 mg•g<sup>-1</sup>, es decir, la retencion de color fue de 59.5 %, en segundo lugar se encuentra el polvo que se almaceno a 4 C, siendo la retencion de color del 26 %, en el caso de el polvo almacenado a temperatura ambiente sin papel aluminio fue evidente el daño provocado por los rayos solares, en particular por los rayos infrarrojos, ya que tuvo una retencion de color de tan solo 1.96 %. Para el que se almaceno con papel aluminio tuvo una ligera mayor retencion del pigmento, con respecto a la que no fue cubierta con el papel aluminio siendo este del 2.71 % como se muestra en la Figura 5.

Lease y Lease, (1956), encontraron que el contenido de humedad del material, la temperatura a la cual fue almacenado y la composicion de la atmosfera son factores criticos en el mantenimiento de la intensidad del pigmento.

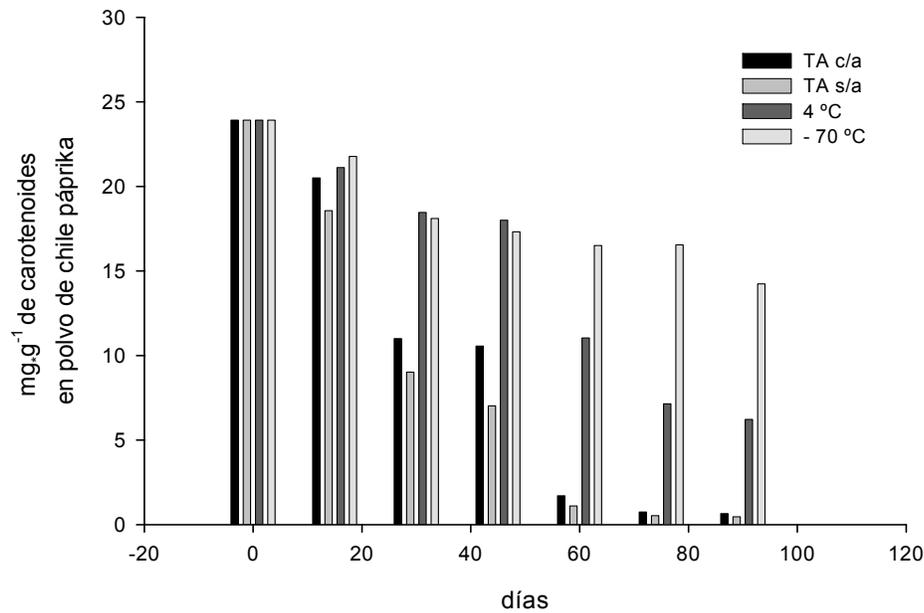


Figura 5. Degradación de carotenoides en polvo de chile paprika almacenado durante 90 días

El estado de madurez de los frutos del cual el polvo de paprika ha sido procesado tambien afecta el deterioro del color durante el almacenamiento. El deterioro del pigmento del polvo almacenado en condiciones de baja humedad, producido de frutos secados en la planta durante un tiempo prolongado, fue mucho mas rapido que el deterioro del polvo producido por frutos cosechados en estado de madurez menos avanzado (estado cambiante). El contenido de humedad del polvo esta directamente relacionado con el deterioro del color, ya que por debajo del 14% de humedad el polvo se deteriora con mayor facilidad y a temperaturas mayores a la de refrigeracion (4-6 °C) el deterioro es mayor (Kanner y col., 1974).

## V. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los datos de color, los parámetros  $a^*$  y  $h^\circ$  son los más adecuados para describir los cambios de color durante la maduración del chile páprika y la temperatura de 30 °C es la más adecuada para el desverdizado de chile páprika.
- Los frutos en estados de madurez verde brillante y verde profundo mostraron incapacidad para madurar en forma homogénea, independientemente de la temperatura de almacenamiento.
- Los frutos en estado de madurez verde cambiante y rojo cambiante son capaces de cambiar su color, sin embargo, no alcanzan un contenido de pigmentos similares a los frutos cosechados rojo brillante o parcialmente seco.
- Para los frutos en los estados de madurez rojo cambiante y verde cambiante sometidos a etileno  $100 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$  se obtiene la mayor concentración del pigmento comparado con frutos en el mismo estado de madurez que no fueron tratados con etileno.
- La extracción con etanol produjo el mayor rendimiento de oleorresina, sin embargo la extracción con acetona produjo la oleorresina de mayor calidad.
- La temperatura y la exposición a la luz tienen un papel importante en la estabilidad del pigmento de chile páprika en sus presentaciones como polvo y oleorresina.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almela, L., Fernández-López, J.A., Candela, M.E., Egea, C. and Alcázar, M.D. 1996. Changes in pigments, chlorophyllase activity and chloroplast ultrastructure in ripening pepper for paprika. *J. Agric. Food Chem.* 44:1704-1711.
- Barmore, C. R. 1975. Effect of ethylene on chlorophyllase activity and chlorophyll content in calamondin rind tissue. *Hortsciense*, 10: 595-596.
- Biale, J.B. 1977. Growth, maturation, and senescence in fruits. *Hortsciense*, 146: 880-888.
- Bosland, P. W. 1993. Breeding for quality in *Capsicum*. *Cap. Newsletter*. 12: 25-31.
- Britton, G. 1988. Biosynthesis of carotenoids. En *Plant pigments*. Goodwin, T.W. (Eds). Academic Press: London and New York, 1988. pp 133-182.
- Buckle, O. and Edwards, M. 1970. Chlorophyll catabolism in senescing plant tissue: in vivo Breakdown intermediates suggest different degradative pathways for red pepper. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 84: 1901-1905.
- Cantwell, R. F. 1997. Manejo nutricional y fertilizacion balanceada en el cultivo de paprika. Manejo del cultivo de paprika. Arequipa, Peru. ([www.fertitec.com](http://www.fertitec.com)).
- Cholnoky, L., Gyorgyfy, K., Nagy., E and Panczel, M. 1955. Carotenoid Pigmente I. Pigments in red pepper. *Acta. Chim. Acad. Sci. Hung.* 6: 143-171.
- Czygan, F. C. (Ed. 1980). "Pigments in Plants", 2nd edn. Fischer, Stuttgart.
- Davies, B. H. 1976. Carotenoids. In "Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments" (T. W Goodwin, Ed.) Vol. 2, 38-165. Academic Press, London.
- Deli, J., Molnar, P., Matus, Z., and Toth, G. 2001. Carotenoid Composition in the Fruits of Red Paprika (*Capsicum annum var. lycopersiciforme rubrum*) during Ripening; Biosynthesis of Carotenoid in Red Paprika. *J Agric. Food Chem.* 49: 1517-1523.
- Dorantes-Alvarez, L. and Chiralt., 2000. Color of Minimal processed fruits and vegetables as affected by some chemical and biochemical changes. En Alzamora, S.M., Tapia, M.S. y Lopez-Malo, A. (Ed.). Minimally processed fruits and vegetables. Aspen. USA. p 111.
- Downham, A. and Collin, P. 1999. Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science and Technology.* 35, 5-22.

- Frank, H.A. and Cogdell, R.J. 1993. The photochemistry and function of carotenoids in photosynthesis. En Carotenoids in photosynthesis. Young, A. Britton, G. (Eds). Chapman and Hall. London. Pp 253-326.
- Gey, K. F. and Puska, P. 1989. Plasma vitamin E and A inversly correlated to martality from is chemic heart disease in cross culture epidemiology. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 570: 268-282. En Márkus, F., Dado, H. G., Kapitány J., and Biacs, P. A. Change in the Carotenoid and Antioxidant Content of Spice Red Pepper (Páprika) as s Function of Ripening and Some Technological Factors. *J. Agric. Food Chem.* 1998, 47: 100-107.
- Giaconi, V. 1990. Cultivo de Hortalizas. ed. Universitarias. Santiago-Chile. 308 pp.
- Gomez, R., Oardo, J.E., Navarro, F. and Baron, R. 1998. Colour differences in páprika pepper varieties (*Capsicum annum L.*) cultivated in a green house and in the open air. *J. Sci. Food Agric.* 77: 268-272.
- Govindarajan, V.S. 1986. Capsicum-Production, Technology, chemistry and quality. Processed products, standards, world production and trade. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 23:207-288.
- Harkay-Vincler, M., 1974. Storage experiments with raw material of seasoning páprika with particular reference to the red color pigment components. *Acta. Alim. Acad. Sci. Hung.* 3: 239-249.
- Heaton, J. W. and Marangoni, A.G. 1996. Chlorophyll degradation in processed foos and senescent plant tissues. *Trends in Food Science and Technology.* 7: 8-15.
- Hornero-Méndez, D., Gómez-Ladrón de Guevara, R. and Minués-Mosquera, M.I., 2000. Carotenoids biosintesis changes in five red peppper (*Capsicum annum L.*) Cultivars during ripening. Cultivar selection for breeding. *J Agric. Food Chem.* 48: 3857-3864.
- Hornero-Méndez, D. and Minguez-Mosquera, M. I. 2001. Rapad Spectrophotometric Determination of Red and Yellow Isochromic Carotenoid Fractions in Páprika and Red Pepper Oleorresin. *J Agric. Food Chem.* Vol. 49, No. 8. 3585.
- Iturriaga, J.N., 2000. Perfil de producto páprika. <[http://www.comexperu.org.pel./privado/p\\_páprika.pdf](http://www.comexperu.org.pel./privado/p_páprika.pdf)>(12 may. 2004).
- Jarén-Galán, M., Nienaber, U., and Schwartz, S.J. 1999. Páprika (*Capsicum annum*) Oleoresin extraction with supercritical carbon dioxide. *J. Agric. Food Chem.*, 47 (9), 3558-3564.
- Jones, S. y Rosa, O. R. 1989. Ficha técnica para el cultivo de páprika. Fonagro-Chincha.

- Kader, A. A. and Morris, L. L. 1978. Tomato fruit color measured with an Agstron ES-W reflectance spectrophotometer. *Hortsciense*, 13: 577-578.
- Kahn, B.A., Motes, J.E. and Maness, N.O., 1997. Use of ethephon as a controlled abscission agent on páprika pepper. *Hortsciense*, 32: 251-255.
- Kanner, J., Stella Harel, D. Palevitch and Ben-Gera, I., 1974. Colour Retention in Sweet Red Paprika (*Capsicum annum L.*) Powder as Affected by Moisture contents and ripening stage. Agricultural Research Organization, Israel, series no. 278-E.
- Kardos, J., 1999. Planteles, Semilleros, Viveros. Ediciones de Horticultura, SL.. Madrid-España. 271 pp.
- Kidmose U., M. Edelenbos, R. Norbaek, and Christensen, L. P., 2002. Colour stability in vegetables. En MacDougall, D. B. (Ed) *Color in Food. Improving quality*. CRC Press. Boca Raton. USA. p/ 179-232.
- Kirk, J. T. O., and Tilney-Bassett, R. A. E. 1978a. "The Plastids. Their chemistry, Structure, Growth and Inheritance", 2nd edn. Elsevier, Amsterdam.
- Kirk, J. T. O., and Tilney-Bassett, R. A. E. 1978b. "The Plastids. Their Structure Growth and Inheritance", 2nd edn, 127-189. Elsevier, Amsterdam.
- Knave, D.E. and Kemp, T. R., 1973. Ethephon and CPTA on colour development in bell pepper fruits. *Hortsciense*, 8: 403-404.
- Krajayklang, M., Klieber, A. and Dry, P.R., 2000. Colour at harvest and post-harvest behaviour influence páprika and chilli spice quality. *Postharv. Biol. Technol.* 20: 269-278.
- Lease, J. G., and Lease, E. J., 1956. Factors affecting the retention of red color in peppers. *Food Technol.* 10: 368-373.
- Lin, W., 1991. Degradation Kinetics of chlorophylls and chlorophyllides. *J. food Sci.* 56: 1639-1643.
- Lockwood, D., and Vines, H. M., 1972. Red colour enhancement of pimiento peppers with (2-Chloroethyl) phosphonic acid. *J. Am. Soc. Hortsciense.* 97, 192-197.
- Maroto, J., 1989. *Horticultura Herbacea y Especial*. ed. mundi-prensa 5ta edición. Madrid, España. 590 pp.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective colour measurement. *Hortsciense*, 27: 1254-1255.

- Minguez-Mosquera, M. A. and Hornero-Mendez, M., 1994. Formation and transformation of pigments during the fruit ripening of (*Capsicum annum*) cv. Bola and Agridulce. *J. Agric. Food Chem.* 42: 38-44.
- Núñez, F., Gil-Ortega, R. y Costa, J. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajies. Ediciones mundi-prensa. Madrid, España. 586 pp.
- Pérez-Gálvez, A., Garrido-Fernández, J. and Minués-Mosquera, M.I., 1999. Participation of pepper seed on the carotenoid stability of ground pepper. *J. American Oil Chem. Soc.* 76: 1449-1454.
- Pérez-Gálvez, A., Jarén-Galán, M. and Minguez-Mosquera, M., 2000. Affect of high-temperature degradative processes on Ketocarotenoids present in páprika oleoresin. *J. Agric. Food Chem.* 48: 2966-2971.
- Reid, M., 1992. Ethylene in Postharvest Technology. Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Cap 13. Second dition.
- Reinhard, E., 1996. Pigments. En Handbook of food analisis (vol. 1). Nollet, L. (ed). Marcel Dekker Inc. New York. Cap. 23 pag. 937-1005.
- Saltveit, M.E., 1977. Carbon dioxide, ethylene, and color development in ripening mature green bell peppers. *J. Am. Soc. Hortsciense*, 102: 523-525.
- Santos-Moreno, A. y Esparza-Torres, F., 1995. Manual de prácticas de química y bioquímica de alimentos. Editado por la Universidad Autónoma Chapingo.
- Schneider, H. A. W., 1975. Chloropylls: Aspects of biosíntesis and its regulation. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 88: 83-123.
- Schwartz, S.J., and Von Elbe, J. H., 1983. Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables. *J. Food Sci.* 48: 1303
- Schwartz, S.J. and Lorenzo T. V., 1990. Chlorophylls in foods. *Cirt. Rev. Food Sci. Nut.* 29: 1.
- Shimokawa, K. Sakanoshita, A. and Horiba, K. 1978a. Ethylene induced changes of chloroplast structure in Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc). *Plant Cell Physiol.* 19: 229-236.
- Shimokawa, K., Shimada, S. and Yaeo, K. 1978b. Ethylene-enhanced chloropyllase activity during degreening of *Citrus unshiu* Marc. *Hortsciense*, 8: 129-135.
- Simpson, K. L. and Chichester, C. O. 1981. Metabolism and nutritional significance of carotenoids. *Annu. Rev. Nutr.* 1: 351-374.
- Somos. A. 1984 The Páprika. Akademiai Kiado, Budapest. p.291.

- Stewart, I. and Wheaton, T. A. 1971. Effect of ethylene and temperature on carotenoid pigmentation of citrus peel. Proc. Fla. State Hortsciense, 84, 9-11.
- Zapata, M. Bañon, S. y Cabrera, P. 1992. El Pimiento para Pimentón. ed. mundi-prensa Madrid, España. 240 pp.
- Zechmeister, L., 1934. "Carotenoids". Springer, Berlin.

## VII. APÉNDICE

Cuadro A1. Análisis de varianza para el valor de L\* en frutos de chile páprika en diferentes estados de madurez.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: L

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	43.18118778	8.63623756	13.66	0.0001
Error	12	7.58859400	0.63238283		
Corrected Total	17	50.76978178			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	L Mean
0.850529	1.857530	0.795225	42.81089

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	43.18118778	8.63623756	13.66	0.0001

Cuadro A2. Análisis de varianza para el valor de a\* en frutos de chile páprika en diferentes estados de madurez.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: a

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	1459.243723	291.848745	213.95	<.0001
Error	12	16.369043	1.364087		
Corrected Total	17	1475.612766			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	a Mean
0.988907	22.19835	1.167941	5.261389

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	1459.243723	291.848745	213.95	<.0001

**Cuadro A3. Análisis de varianza para el valor de b\* en frutos de chile páprika en diferentes estados de madurez.**

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: b

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	82.00677044	16.40135409	39.62	<.0001
Error	12	4.96748333	0.41395694		
Corrected Total	17	86.97425378			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	b Mean
0.942886	10.23518	0.643395	6.286111

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	82.00677044	16.40135409	39.62	<.0001

**Cuadro A4. Análisis de varianza para el valor de C\* (Cromaticidad) en frutos de chile páprika en diferentes estados de madurez.**

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: C\*

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	571.1767676	114.2353535	134.20	<.0001
Error	12	10.2150540	0.8512545		
Corrected Total	17	581.3918216			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	C Mean
0.982430	8.363047	0.922635	11.03228

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	571.1767676	114.2353535	134.20	<.0001

Cuadro A5. Análisis de varianza para el valor de  $h^\circ$  (ángulo de matiz) en frutos de chile páprika en diferentes estados de madurez.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: h

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	29665.92409	5933.18482	59.06	<.0001
Error	12	1205.59323	100.46610		
Corrected Total	17	30871.51732			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	h Mean
0.960948	15.66285	10.02328	63.99394

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	29665.92409	5933.18482	59.06	<.0001

Cuadro A6. Análisis de varianza para el valor de  $a^*$  en frutos de chile páprika en diferentes estados de madurez en el tiempo inicial.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: a\*

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	63706.61965	3747.44821	177.02	<.0001
Error	198	4191.55108	21.16945		
Corrected Total	215	67898.17073			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	A Mean
0.938267	58.83248	4.601027	7.820556

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	61776.84064	12355.36813	583.64	<.0001
TEM	2	116.93164	58.46582	2.76	0.0656
EM*TEM	10	1812.84737	181.28474	8.56	<.0001

Cuadro A7. Análisis de varianza del valor de a\* en frutos de chile cosechados en diferente estado de madurez y almacenados siete días a temperaturas ambiente, 30 y 35 °C.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: a\*

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	6016.935547	353.937385	27.96	<.0001
Error	198	2506.471175	12.658945		
Corrected Total	215	8523.406722			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	A Mean
0.705931	24.78434	3.557941	14.35560

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	361.289397	72.257879	5.71	<.0001
TEM	2	2830.318056	1415.159028	111.79	<.0001
EM*TEM	10	2825.328094	282.532809	22.32	<.0001

Cuadro A8. Análisis de varianza para el valor de h° en frutos de chile páprika en diferentes estados de madurez en el tiempo inicial.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: h°

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	359747.0666	21161.5922	197.28	<.0001
Error	198	21239.3090	107.2692		
Corrected Total	215	380986.3757			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	H Mean
0.944252	13.99576	10.35709	74.00157

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	354741.6841	70948.3368	661.40	<.0001
TEM	2	532.2197	266.1098	2.48	0.0863
EM*TEM	10	4473.1629	447.3163	4.17	<.0001

Cuadro A9. Análisis de varianza de carotenoides correspondiente a la fracción roja en frutos cosechados en diferentes estados de madurez y almacenados a temperaturas ambiente, 30 y 35 °C.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: fr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	4837.149395	284.538200	895.56	<.0001
Error	36	11.437992	0.317722		
Corrected Total	53	4848.587387			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	fr Mean
0.997641	3.409032	0.563668	16.53456

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	4607.617960	921.523592	2900.41	<.0001
TEM	2	91.509785	45.754893	144.01	<.0001
EM*TEM	10	138.021650	13.802165	43.44	<.0001

Cuadro A10. Análisis de varianza de carotenoides correspondiente a la fracción amarilla en frutos cosechados en diferentes estados de madurez y almacenados a temperaturas ambiente, 30 y 35 °C.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: fa

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	3015.679419	177.392907	160.53	<.0001
Error	36	39.781801	1.105050		
Corrected Total	53	3055.461221			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	fa Mean
0.986980	9.551615	1.051214	11.00561

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	2853.539677	570.707935	516.45	<.0001
TEM	2	109.140056	54.570028	49.38	<.0001
EM*TEM	10	52.999686	5.299969	4.80	0.0002

Cuadro A11. Análisis de varianza del contenido de clorofila en frutos cosechados en diferentes estados de madurez y almacenados a temperaturas ambiente, 30 y 35 °C.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: clorofila

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	0.19465267	0.01145016	150.70	<.0001
Error	36	0.00273533	0.00007598		
Corrected Total	53	0.19738800			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	clorof Mean
0.986142	7.450201	0.008717	0.117000

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
EM	5	0.04311489	0.00862298	113.49	<.0001
tem	2	0.01724411	0.00862206	113.48	<.0001
EM*tem	10	0.13429367	0.01342937	176.75	<.0001

Cuadro A12. Análisis de varianza del contenido de clorofila en frutos cosechados en los estados de madurez verde cambiante y rojo cambiante y tratados con etileno 0 y 100 ppm.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: clorofila

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	2.79649425	0.93216475	1917.71	<.0001
Error	8	0.00388867	0.00048608		
Corrected Total	11	2.80038292			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	clorof Mean
0.998611	1.928195	0.022047	1.143417

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	3	2.79649425	0.93216475	1917.71	<.0001

Cuadro A13. Análisis de varianza del rendimiento de oleorresina obtenida con diferentes solventes.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: rend

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.25360469	0.08453490	102.21	<.0001
Error	12	0.00992475	0.00082706		
Corrected Total	15	0.26352944			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	rend Mean
0.962339	11.48912	0.028759	0.250313

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	3	0.25360469	0.08453490	102.21	<.0001

# CIBIA V

## V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos

*Hacia una visión integrada de la Ingeniería de Alimentos*

EL COMITÉ ORGANIZADOR DEL  
V CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
OTORGA LA PRESENTE CONSTANCIA A:



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

*Elia N. Aquino Bolaños, Shamid J.J. Assaf Silva, Elia Trejo Trejo,  
Rubén Corona Velázquez, Alma D. Hernández Fuentes.*

**POR LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO:**



UNIVERSIDAD DE LAS  
AMÉRICAS. PUEBLA

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y USO DE ETILENO EN EL  
DESVERDIZADO DE CHILE PAPRIKA.**

X-12

**EN LA MODALIDAD DE CONTRIBUCIÓN LIBRE (CARTEL)  
PUERTO VALLARTA, JALISCO, MÉXICO.  
DEL 4 AL 7 DE SEPTIEMBRE DEL 2005**



GRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA  
TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO

  
Dr. Gustavo Fidel Gutiérrez López  
Presidente del Congreso

  
Dr. Jorge Weltri Chanes  
Por el Comité Internacional

  
Ing. Carlos Ordorica Vargas  
Presidente del Comité Científico