



# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**



**ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

## **Efecto del tratamiento térmico en las propiedades nutracéuticas del chile chilaca (*Capsicum annuum* L.)**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS QUIMICOBIOLOGICAS**

**PRESENTA**

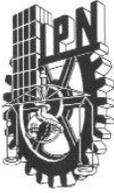
**ROSA MARÍA CORTEZ GARCÍA**

**DIRECTORA**

**DRA. ALICIA ORTIZ MORENO**

**MÉXICO, D.F.**

**DICIEMBRE, 2011**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de México D. F., siendo las 13:00 horas del día 7 del mes de diciembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas para examinar la tesis titulada:

**Efecto del tratamiento térmico en las propiedades nutracéuticas  
del chile chilaca (*Capsicum annuum* L.)**

Presentada por el alumno:

Cortez  
Apellido paterno

García  
Apellido materno

Rosa María  
Nombre(s)

Con registro: 

|   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|

aspirante de:

Maestría en Ciencias Quimicobiológicas

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

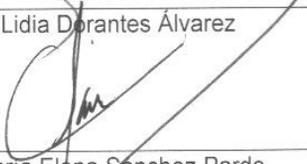
LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

  
Dra. Alicia Ortiz Moreno

  
Dra. Lidia Dorantes Álvarez

  
Dra. María Guadalupe Guerra Sánchez

  
Dra. María Elena Sánchez Pardo

  
Dr. Eliseo Cristiani Urbina

  
Dr. Eduardo Ramírez San Juan

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
Dr. Manuel Jesús Piñón López





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de México, D.F., el día 08 del mes de Diciembre del año 2011, la que suscribe Rosa María Cortez García alumna del Programa de Maestría en Ciencias Quimicobiológicas con número de registro A100229, adscrito a la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. Alicia Ortiz Moreno ceden los derechos del trabajo intitulado "Efecto del tratamiento térmico en las propiedades nutraceuticas del chile chilaca (*Capsicum cmnuwn L.*)", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección ortizalicia@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Rosa María Cortez García

Dra. Alicia Ortiz Moreno



Esta tesis fue elaborada gracias al apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Programa Institucional de Formación de Investigadores

# ÍNDICE GENERAL

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| <b>ÍNDICE GENERAL</b> .....   | i             |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....  | iii           |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....  | iv            |
| <b>RESUMEN</b> .....  | v             |
| <br>  |               |
| <b>1.INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>1</b>      |
| .   |               |
| <b>1.1 Generalidades del chile</b>  |               |
| <b>1.2 Fitoquímicos del chile</b>   |               |
| <b>1.3 Uso de las microondas en el tratamiento térmico de los alimentos</b> |               |
| <b>1.4 Color</b>  |               |
| <br>  |               |
| <b>2. ANTECEDENTES</b> .....  | <b>10</b>     |
| <br>  |               |
| <b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....   | <b>12</b>     |
| <br>  |               |
| <b>4. OBJETIVOS</b> .....   | <b>13</b>     |
| 4.1 Objetivo general  |               |
| 4.2 Objetivos específicos   |               |
| <br>  |               |
| <b>5. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b> .....                                     | <b>14</b>     |
| <br>  |               |
| <b>6. METODOLOGÍA</b> .....   | <b>15</b>     |
| 6.1 Material vegetal.....   | 15            |
| <b>6.2 Tratamientos térmicos</b> .....                                      | <b>15</b>     |
| <b>6.3. Análisis de fitoquímicos</b> .....                                  | <b>17</b>     |
| <b>6.3.1 Determinación de ácido ascórbico</b>                               |               |
| <b>6.3.2 Determinación de clorofilas</b>                                    |               |

|  |           |
|--|-----------|
| 6.3.3 Determinación de carotenoides  |           |
| 6.3.4 Determinación de fenoles   |           |
| 6.4 Determinación de color.....  | 19        |
| 6.5 Determinación de actividad antioxidante<br>DPPH.....                   | 20        |
| 6,5.1 Clorofilas   |           |
| 6,5.2 Carotenoides   |           |
| 6,5.1 Fenoles  |           |
| 6.6 Análisis estadístico.....  | 21        |
| <b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>                                      | <b>22</b> |
| 7.1 Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fitoquímicos..... | 23        |
| 7.1.1 Ácido ascórbico  |           |
| 7.1.2 Clorofilas   |           |
| 7.1.3 Carotenoides   |           |
| 7.1.4 Fenoles  |           |
| 7.2 Efecto del tratamiento térmico sobre el color.....                     | 39        |
| 7.3 Efecto del tratamiento térmico sobre la actividad antioxidante.....    | 43        |
| 7.3.1 Clorofilas   |           |
| 7.3.2 Carotenoides   |           |
| 7.3.3 Fenoles  |           |
| <b>8. CONCLUSIONES.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>49</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | Página |
|---|--------|
| <b>Figura 1.</b> Anatomía del chile                                     | 1      |
| <b>Figura 2.</b> Chile chilaca  | 3      |
| <b>Figura 3.</b> Chile pasilla  | 3      |
| <b>Figura 4.</b> Componentes importantes presentes en el chile          | 5      |
| <b>Figura 5.</b> Clorofila <i>a</i> y <i>b</i>                          | 6      |
| <b>Figura 6.</b> Funcionamiento del horno de microondas doméstico       | 8      |
| <b>Figura 7.</b> Espacio de color CIELAB                                | 9      |
| <b>Figura 8.</b> Degradación del ácido ascórbico                        | 24     |
| <b>Figura 9.</b> Estructura de los derivados clorofílicos               | 28     |
| <b>Figura 10.</b> Biosíntesis de carotenoides en <i>Capsicum annuum</i> | 32     |
| <b>Figuras 11.</b> Reacción en el ensayo del DPPH <sup>+</sup>          | 43     |

## ÍNDICE DE CUADROS

Página

|   |    |
|---|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Valor nutricional del chile chilaca y pasilla                                      | 4  |
| <b>Cuadro 2.</b> Condiciones de calentamiento en los tratamientos                                   | 16 |
| <b>Cuadro 3.</b> Temperaturas registradas en el chile pasilla durante los tratamientos              | 22 |
| <b>Cuadro 4.</b> Temperaturas registradas en el chile chilaca durante los tratamientos              | 22 |
| <b>Cuadro 5.</b> Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de ácido ascórbico               | 23 |
| <b>Cuadro 6.</b> Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de clorofilas en chile chilaca   | 27 |
| <b>Cuadro 7.</b> Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de clorofilas en chile pasilla   | 30 |
| <b>Cuadro 8.</b> Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de carotenoides en chile chilaca | 31 |
| <b>Cuadro 9.</b> Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de carotenoides en chile pasilla | 34 |
| <b>Cuadro 10.</b> Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fenoles                      | 36 |
| <b>Cuadro 11.</b> Resumen cambios en fitoquímicos debidos al tratamiento térmico                    | 39 |
| <b>Cuadro 12.</b> Efecto del tratamiento térmico sobre las coordenadas a*, b* y L* de chile chilaca | 40 |
| <b>Cuadro 13.</b> Efecto del tratamiento térmico sobre los parámetros C* y h°                       | 41 |
| <b>Cuadro 14.</b> Efecto del tratamiento térmico sobre las coordenadas a*, b* y L* en chile pasilla | 42 |
| <b>Cuadro 15.</b> Actividad antioxidante de clorofilas  | 44 |
| <b>Cuadro 16.</b> Actividad antioxidante de carotenoides  | 45 |
| <b>Cuadro 17.</b> Actividad antioxidante de fenoles   | 46 |

## Resumen

El chile es uno de los productos agrícolas más representativos de México, que además de su relevancia económica es de suma importancia a nivel gastronómico, una de sus principales formas de consumo son los productos tratados térmicamente como las salsas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de los tratamientos térmicos en los fitoquímicos presentes en el chile antes y después de la elaboración de un producto tipo salsa. Para evaluar dicho efecto se emplearon dos métodos de tratamiento térmico: uno convencional (asado y ebullición) y otro empleando el horno de microondas para elaborar dos salsas de chile chilaca fresco y seco (pasilla), con agua o crema debido a que estos son los procedimientos culinarios más empleados en la cocina mexicana. En las salsas se determinó el contenido de: ácido ascórbico, clorofilas, carotenoides y fenoles mediante técnicas espectrofotométricas; así como la actividad antioxidante por el método de DPPH<sup>+</sup> (2,2-diphenil-1-picrilhidrazilo), de cada uno de los fitoquímicos mencionados, antes y después del tratamiento térmico. Se evaluó también el color mediante el sistema propuesto por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIELAB). Respecto al ácido ascórbico se encontró una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) para ambos chiles con los dos tratamientos en ambas mezclas. Las clorofilas del chile chilaca disminuyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) con los dos tratamientos empleando ambas fases; mientras que las del chile pasilla se incrementaron ( $p < 0.05$ ) con ambos tratamientos al emplear la fase acuosa y con la fase de crema se incrementaron ( $p < 0.05$ ) solo con el tratamiento convencional. En cuanto al contenido de carotenoides totales se encontró que tanto en chilaca como en pasilla, el empleo de ambos tratamientos incrementa el contenido de dichos pigmentos al utilizar fase acuosa. No se observaron cambios al emplear la fase de crema. El contenido de fenoles disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) en el chile chilaca en ambos tratamientos en las dos fases. Se observó un incremento en el contenido fenólico del chile seco pasilla al emplear tanto la fase acuosa como la de crema. La actividad antioxidante de los fitoquímicos extraídos de las diferentes salsas no se afectó por los tratamientos térmicos empleados ni por la fase utilizada. En cuanto al color se observó un incremento en el valor de cromaticidad en el chile chilaca empleando tanto agua como crema: mientras que para el chile pasilla se encontró un incremento en dicho valor solo al emplear la fase de crema. El presente trabajo mostró que el tratamiento térmico influye en la cantidad de fitoquímicos extraíbles del chile, pero no afecta la actividad antioxidante que dichos fitoquímicos ofrecen.

## ABSTRACT

Pepper is one of the main fruits culture in Mexico, and because its economical importance, in Mexican cuisine it has gastronomical importance, being the most consumed dish the salsas, due to the mentioned facts the aim of this study was to evaluate the effect of thermal treatments on the phytochemicals of peppers before and after the elaboration of salsa. Two thermal treatments for the salsa elaboration were analyzed: conventional and microwaves; and chilaca (fresh) and pasilla (dehydrated) peppers mix with water or cream. These conditions were selected from the traditional ways of cooking employed in typical recipes. Vitamin C, carotenoids, chlorophylls and phenolic compounds were determined in the salsas; as well as the antioxidant activity of the extracted phytochemicals by DPPH<sup>+</sup> (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) method. Color was evaluated by the CIELAB system. The vitamin C content decreased ( $p \leq 0.05$ ) in both peppers treated by both methods. In chilaca peppers the chlorophyll content decreased ( $p \leq 0.05$ ) with both treatments and mixed with cream or water, meanwhile at pasilla pepper these pigments increase ( $p \leq 0.05$ ) with both treatments using water and with cream it only increased ( $p \leq 0.05$ ) at conventional. The total carotenoid content increased ( $p \leq 0.05$ ) in both peppers using water and the two treatments. No changes in the carotenoid content were observed when cream was used. The phenolic content decreased ( $p \leq 0.05$ ) in chilaca pepper with water and cream at both treatments, and at pasilla pepper these content increased ( $p \leq 0.05$ ). The antioxidant activity of the phytochemicals extracted from the salsas did not change with the thermal treatment or with the use of water or cream. In color determination, it was observed that the Chroma value increase in chilaca pepper mixed with water or cream, meanwhile this increase was only observed with pasilla mixed with cream. The present study showed that the thermal treatment has an influence on the phytochemical content of peppers, but on the antioxidant activity exerted by these compounds.

# 1. Introducción

## 1.1 Generalidades del chile

El fruto del chile botánicamente es una baya; se trata de una estructura hueca constituida por un pericarpio grueso, placenta, semillas y tallo con forma de cápsula (Fig.1); a esta peculiaridad se debe el nombre científico del género **Capsicum** (del griego *kapsakes*, cápsula) [Nuez-Viñals y cols., 1996].

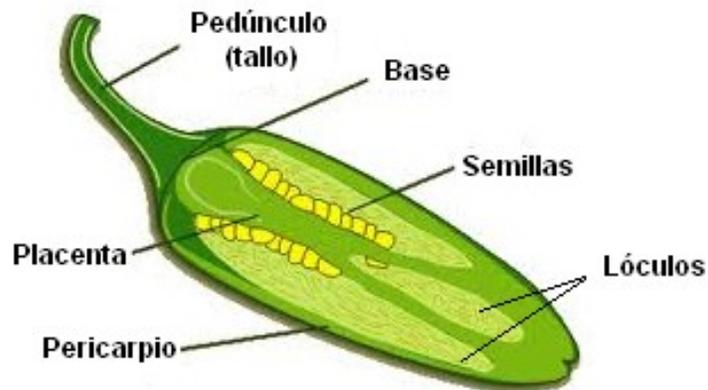
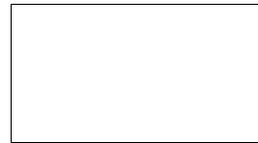


Fig.1 Anatomía del chile

El chile exhibe gran diversidad genética en términos de color, tamaño, forma y composición química, por lo tanto varía en buena medida en sus propiedades antioxidantes, vitaminas y otros fitoquímicos [Wahyuni y cols., 2011]. Las más de 25 especies de chile se caracterizan por la síntesis y acumulación de capsaicinoides, un grupo de alcaloides responsables del picor [Ben-Chaim y cols., 2006].

Todas las variedades de chile, desde los más picantes, hasta los pimientos dulces, son originarias de América; alrededor del 90% de los que en la actualidad se consumen a nivel mundial, son de origen mexicano. De las especies de chile conocidas sólo cinco son las especies domesticadas que se cultivan en el mundo: *C. annuum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. baccatum* y *C. frutescens*. Casi la totalidad de la producción está dada por una sola especie, *Capsicum annuum* y es lo que comúnmente se conoce como chile, ají y/o pimiento.

La última estadística de la FAO [2008] indica que México ocupa el segundo lugar en la producción mundial de chile con una producción cercana a las 2.2 millones de toneladas anuales; en México el consumo per cápita de chile es de 1.5 kg anuales y se exportan 700 000 toneladas anuales a los mercados de Estados Unidos, Canadá, Japón, Alemania e Inglaterra principalmente [SAGARPA, 2010].

Después del maíz, el chile es el producto agrícola más representativo de México, además de ser uno de los condimentos más usados en la preparación de alimentos mexicanos. En México se cultivan 147.6 mil Ha de chiles y los estados de Sinaloa, Chihuahua y Zacatecas son los principales productores en el país. La importancia económica de este cultivo es evidente por su amplia distribución y usos: en fresco, cocido, como condimento, congelado, deshidratado, encurtido, enlatado o como materia prima para la obtención de colorantes y oleoresinas para fines industriales, e incluso para fines medicinales [SAGARPA, 2007]

La clasificación comercial más usual es la que divide a los chiles en: 1) chiles frescos o verdes 2) chiles secos y 3) chiles procesados (envasados). Del total de la producción de chile nacional, el 83.8% corresponde a chiles frescos [SAGARPA,

2007]. Se ha estimado que los chiles son el segundo vegetal más consumido en México después de los tomates [Álvarez-Parrilla y cols., 2011] y se ha informado que el consumo de especies de chile en México es de 20 g/persona/día [Ornelas-Paz y cols., 2010].

En México el consumo de chile es muy importante y existen más de 40 variedades que brindan una gran diversidad y riqueza en los platillos preparados con este producto [CONAPROCH, 2010]. Para integrar el chile a los platillos se somete a hervido, freído o asado principalmente y sus numerosas variantes permiten mezclarlo para crear salsas, aderezos, ensaladas, entre otros; sin embargo, se estima que la quinta parte de la producción de chiles frescos se consume en forma de salsas [De Benítez y cols., 1999].

El chile chilaca (Fig.2) es un chile fresco de color verde oscuro y liso; se consume asado, pelado y desvenado; se usa para rellenar, en rajas y escabeche. El origen del nombre chilaca se relaciona con la palabra *acatl*, caña en náhuatl. La chilaca es un chile largo, delgado y ondulado. Algunos llegan a medir hasta 30 cm y crecen en forma de semicírculo, con 2 o 3 lóculos o cavidades interiores. Es de color verde oscuro cuando esta tierno, pero adquiere un tono café oscuro al madurar. Tiene varios nombres adicionales como negro, prieto o chile para deshebrar. Al deshidratarse, adquiere un tono negro vidrioso, y se denomina pasilla (Fig.3)



**Figura 2.** Chile chilaca



**Figura 3.** Chile pasilla

Los chiles contienen grandes cantidades de vitamina C, A, E, B1 (tiamina), B2 (riboflavina) y B3 (niacina). Un chile verde mediano (148 g) tiene 30 kcal en promedio: 7 g de hidratos de carbono; 2 g de fibra dietaria; 1 g de proteína y 4 g de azúcar; en el chile la mayoría de los azúcares sencillos están representados por la glucosa (90-98%), el resto es sacarosa. La pectina también es un hidrato de carbono importante y está presente en un 3-7%. El chile proporciona 8% de la recomendación diaria de vitamina A, 180% de vitamina C, 2% de calcio y 2% de hierro [Bosland y Votava, 2000]. La composición química y valor nutricional de los chiles chilaca y pasilla se muestran a continuación en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Valor nutricional del chile chilaca y pasilla (en 100 g)**

|                                | <b>Chilaca</b> | <b>Pasilla</b> |
|--------------------------------|----------------|----------------|
| <b>Humedad (g)</b>             | 89.4           | 10.30          |
| <b>Energía (kcal)</b>          | 39             | 380            |
| <b>Hidratos de Carbono (g)</b> | 7.3            | 58.2           |
| <b>Fibra dietética (g)</b>     | 0.9            | 8.0            |
| <b>Proteínas (g)</b>           | 1.5            | 12.7           |
| <b>Lípidos (g)</b>             | 0.3            | 9.6            |
| <b>K (mg)</b>                  | 340            | -              |
| <b>Vitamina A (µg)</b>         | 16             | 1833           |
| <b>Vitamina C (mg)</b>         | 364            | 76             |

[Muñoz de Chávez, 2010]

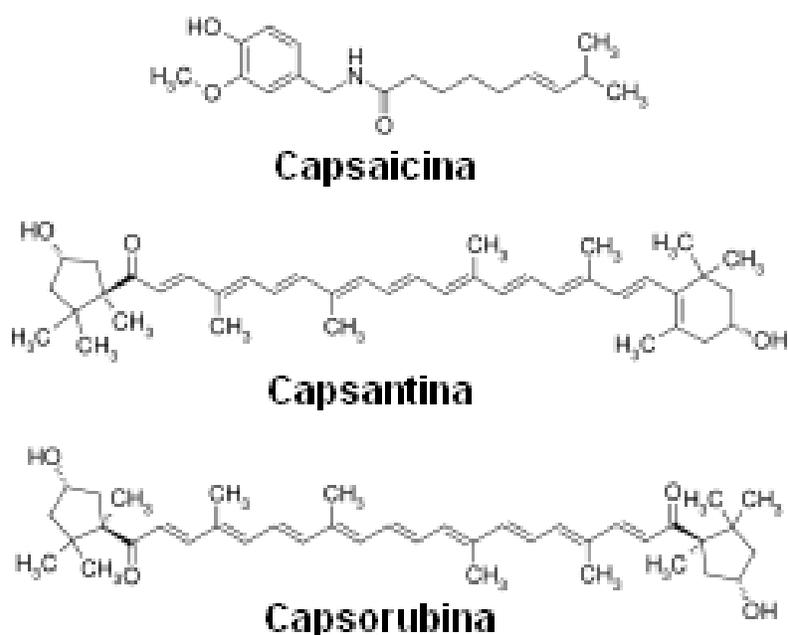
## 1.2 Fitoquímicos del chile

Además de su importancia sensorial los chiles desempeñan un papel relevante en la salud humana debido a que contienen altas concentraciones de compuestos biofuncionales y antioxidantes como el ácido ascórbico, clorofilas, fenoles y carotenoides [Ornelas-Paz y cols., 2011].

Los carotenoides son un grupo de compuestos liposolubles responsables de los colores amarillos, rojo-anaranjados o rojos, los cuales pueden actuar como antioxidantes secuestrando el oxígeno desapareado o reaccionando con los radicales libres. Se hallan libres en los tejidos de las plantas y también se presentan como ésteres o combinados con azúcares y proteínas. Los carotenoides ocurren invariablemente en los cloroplastos de las plantas superiores, aunque en este tejido fotosintético su color está enmascarado por el de la clorofila. [Rodríguez-Amaya, 2001].

Los carotenoides del chile se pueden dividir en tres grupos [Sun y cols., 2007; Vega-Gálvez y cols., 2009; Nuez-Viñals y cols., 1996]:

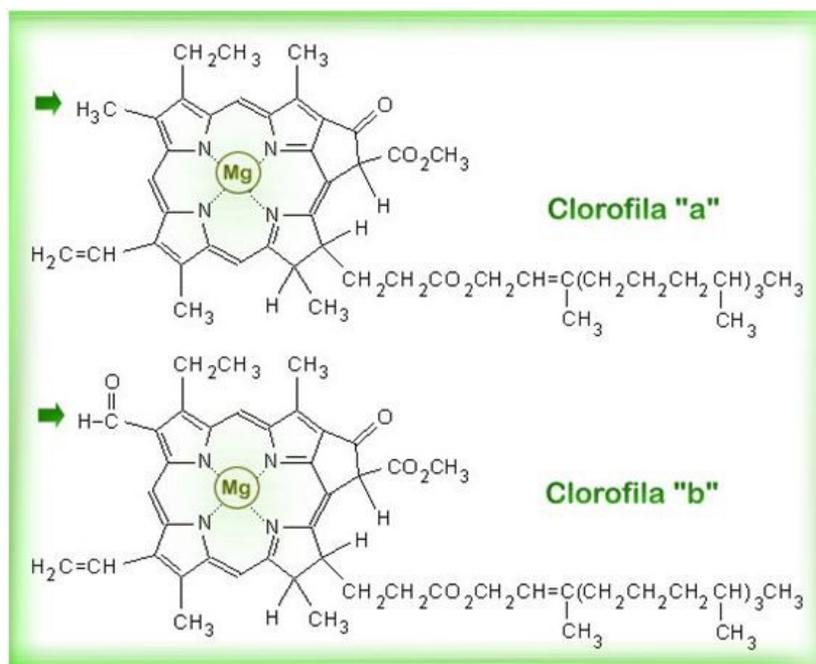
1. Pigmentos principales o característicos: capsantina ( $C_{40}H_{58}O_3$ ) y capsorubina ( $C_{40}H_{60}O_4$ ), que son los que dan el color rojo (Fig. 4).
2. Pigmentos con efecto de provitamina: criptoxantina ( $C_{40}H_{56}O$ ) y  $\beta$ -caroteno ( $C_{40}H_{56}$ ).
3. Otros pigmentos carotenoides zeaxantina ( $C_{40}H_{56}O$ ) y luteína ( $C_{40}H_{56}O$ ).



**Figura 4.** Componentes importantes presentes en el chile

En el chile la vitamina A no se encuentra en formas directamente utilizables, sino que está en forma de provitaminas, las cuales son transformadas en vitamina A en el hígado. Estas provitaminas son la  $\alpha$  y  $\beta$  caroteno y la criptoxantina. De las tres, la más importante es el  $\beta$ -caroteno, por encontrarse en mayor proporción y porque de cada molécula se obtienen dos de vitamina A. Los chiles rojos son una buena fuente de vitamina A, especialmente en los tipos picantes secos, mientras que los dulces en fresco, suministran abundante vitamina C y generalmente las variedades de color verde contienen más vitamina C que las de color amarillo [Nuez-Viñalz y cols., 1996]. Aunque el contenido de vitamina C y la composición química del chile está determinada por la especie, el cultivar y el estado de madurez del fruto [Bosland y Votava, 2000].

Los chiles son también fuente de clorofilas; los pigmentos responsables del característico color verde, los cuales pueden actuar como secuestradores de radicales libres, incrementando la actividad antioxidante [Álvarez-Parrilla y cols., 2011]. En los vegetales se encuentran principalmente la clorofila *a* y *b* (Fig.5) en una proporción 3:1 [Koca y cols., 2005; Turkmen y cols., 2006].



**Fig.5.** Clorofila *a* y *b*

Los chiles contienen también compuestos fenólicos; particularmente flavonoides, quercetina y luteolina [Lee y cols., 1995], estos compuestos actúan como antioxidantes poderosos que pueden proteger al cuerpo humano de los radicales libres; esta actividad se basa en sus propiedades reductoras, en sus grupos hidroxilo y su estructura química [Oboh y Rocha, 2007].

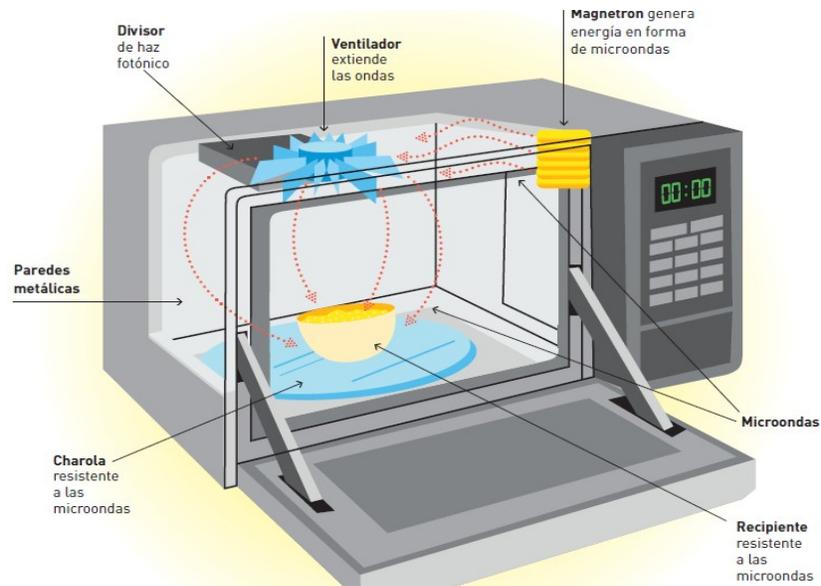
Dentro del grupo de los compuestos fenólicos se encuentran los capsaicinoides, que son sintetizados exclusivamente en el chile, principalmente en las células de la placenta donde representan un 2.5% de la materia seca; se tratan de una mezcla de varias amidas que son responsables de la pungencia y la sensación de ardor. Se han identificado más de 15 capsaicinoides por medio de HPLC y se ha determinado que los principales son la capsaicina, dihidrocapsaicina y norhidrocapsaicina, siendo la capsaicina la más importante entre ellas [Ornelas-Paz y cols., 2010](Fig. 4). El contenido de capsaicinoides en el chile depende del estado de madurez, del origen geográfico, el cultivar, los cambios de los factores ambientales básicos, entre otros aspectos [Nuez-Viñals y cols., 1996].

Además de los componentes anteriores el chile está compuesto por sustancias minerales, aminoácidos, ácidos orgánicos, aldehídos, alcoholes, terpenos, sustancias minerales y aceites volátiles presentes en el pericarpio que confieren el sabor y aroma característicos de cada variedad [Pino y cols., 2007].

### **1.3 Uso de las microondas en el tratamiento térmico de los alimentos**

Las microondas son un tipo de radiación electromagnética con frecuencias de 300 MHz a 300 GHz, o longitudes de onda desde 1 m a 1 mm [Thostenson y Chou.,1999], que hoy en día se usan en campos tan diversos como las telecomunicaciones; sin embargo, su aplicación más conocida es el horno de microondas doméstico (Fig. 6).

Los hornos de microondas domésticos actuales generan ondas con una frecuencia de 2.45 GHz que pasan a través de los alimentos. El agua y otras sustancias polares absorben estas ondas y se calientan mediante un proceso llamado calentamiento dieléctrico: el campo eléctrico de las microondas cambia constantemente, lo que provoca que estas moléculas polares se muevan rápidamente al tratar de alinearse con el campo y, como consecuencia, aumenta la temperatura.



**Fig.6** Funcionamiento del horno de microondas doméstico [Revista del consumidor, Abr.2011]

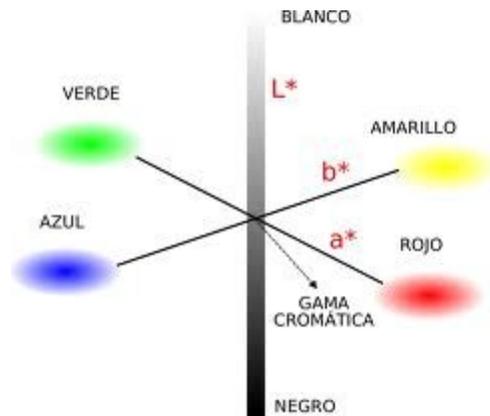
Las ventajas del uso de las microondas incluyen [Leonelli y Mason, 2010]:

- Eficiente calentamiento exactamente donde es necesario (eficiencia de conversión de energía)
- Reducción de los tiempos empleados
- Rápida transferencia de energía
- Uniformidad del calentamiento
- Rápido encendido
- Equipo compacto
- Medio ambiente limpio desde el punto de vista del uso

#### 1.4 Color

Las mediciones de color se usan para especificar los colores percibidos por el ojo humano y su expresión numérica facilita la comunicación y estandarización. La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) estableció un sistema de color triestímulo basado en la teoría de que el ojo humano posee receptores para los colores primarios (rojo, verde y azul) y desarrollaron el espacio de color CIELAB (Fig. 7) que es el sistema más utilizado actualmente [Kim y cols., 2008].

El sistema está basado en 3 coordenadas:  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  representadas en una esfera, estos valores determinan la cromaticidad ( $C^*$ ) y la tonalidad ( $hue^\circ$ ). La coordenada  $L^*$  mide el grado de luminosidad del color y se mide de 0 (donde el color es negro) a 100 (donde el color es blanco). La coordenada  $a^*$  denota rojo cuando es positiva y verde cuando es negativa;  $b^*$  denota amarillo cuando es positivo y azul cuando es negativo; el valor de  $hue^\circ$  es un ángulo que tiene un valor de  $0^\circ$  cuando es rojo,  $90^\circ$  cuando es amarillo  $180^\circ$  cuando es verde y  $270^\circ$  cuando es azul. El valor  $C^*$  indica la saturación del color; cuando los colores están cercanos al eje central tienen valores de cromaticidad bajos, los colores localizados en la periferia tienen colores más vivos [Wall y Bosland, 1998].



**Fig.7** Espacio de color CIELAB

## 2. Antecedentes

Ornelas-Paz y cols., [2011] evaluaron el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de ácido ascórbico, carotenoides y actividad antioxidante en 13 variedades de chile que fueron sometidas a ebullición por 7-13 minutos y asado por 9-19 minutos. Los autores demostraron que los chiles frescos son una buena fuente de ácido ascórbico,  $\beta$ -caroteno y otros carotenoides, mostrando buena actividad antioxidante de acuerdo al ensayo DPPH (diphenyl-1-picrylhydrazyl). Los tratamientos térmicos produjeron reducción en el contenido de ácido ascórbico y carotenoides mientras que la actividad antioxidante se redujo en chiles pungentes y se incrementó en chiles no pungentes.

Mazzeo y cols., en 2011 evaluaron el efecto de dos tratamientos térmicos (hervido y cocinado al vapor) sobre los fitoquímicos de zanahoria, coliflor y espinaca. Encontraron que la ebullición produjo un mayor efecto sobre el contenido de carotenoides, clorofilas, ácido ascórbico y fenoles en comparación con el cocinado al vapor.

Ornelas-Paz y cols., en 2010 evaluaron el efecto de dos tratamientos térmicos (hervido y asado) sobre el contenido de fenoles en 13 variedades de chile, incluido el chile chilaca, encontraron un incremento en el contenido de fenoles totales en chiles pungentes y la reducción de éstos compuestos en chiles no pungentes.

Alvarez-Parrilla y cols. [2011] estudiaron el procesado de chile jalapeño y serrano e indican que los chiles estudiados contienen capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina y la última sólo en chiles frescos. Los compuestos capsaicinoides presentaron alta actividad antioxidante. Mostraron que la

eliminación de clorofilas redujo la actividad antioxidante de los extractos con lo cual se comprobó la actividad antioxidante de éstos compuestos.

En 2008, Chuah y cols., evaluaron el efecto de diferentes tratamientos térmicos (microondas, hervido y freído) sobre la actividad antioxidante, ácido ascórbico y fenoles de seis variedades de chile. Los tratamientos se llevaron a cabo durante 5 minutos y encontraron que el cocinado en microondas produjo una mejor retención de los compuestos bioactivos de los chiles tratados durante el tiempo de exposición. Las muestras también fueron evaluadas a los 30 minutos de ebullición y se observó una disminución significativa de los mismos componentes. Indican también que es importante consumir el agua usada en procesos como el hervido ya que los compuestos bioactivos migran hacia el agua como resultado de la lixiviación de los tejidos tratados.

Greco y cols., en 2006 evaluaron la capacidad antioxidante (total, hidrofílica y lipofílica) por medio de HPLC de cinco recetas italianas basadas en pimientos (*Capsicum annuum*); determinaron que la capacidad reductora hidrofílica (compuesta principalmente por ácido ascórbico) disminuyó mientras la lipofílica se incremento significativamente con el procesado.

En 2006 Bernharrdt y Schlich evaluaron la retención de vitaminas lipofílicas en brócoli y chile antes y después de ser sometidos a diferentes métodos de cocinado (hervido, microondas y vapor); informan un incremento en el contenido de  $\beta$ -caroteno y  $\alpha$ -tocoferol en el brócoli y una disminución de éstos componentes en el chile debidos al tratamiento.

Turkmen y cols., (2006) encontraron que diferentes tratamientos térmicos (ebullición, microondas y cocinado al vapor) produjeron una disminución significativa (19%-80%) en el contenido de clorofilas de 7 vegetales verdes y un incremento en el contenido de feofitinas. La menor formación de feofitinas ocurrió en los vegetales cocinados con microondas.

Turkmen y cols., (2005) investigaron el efecto de diferentes tratamientos térmicos (ebullición, microondas y cocinado al vapor) en la actividad antioxidante de

vegetales frescos. Encontraron que después del cocinado la actividad antioxidante se incrementó o se mantuvo sin cambios dependiendo del tipo de vegetal.

### 3. **Justificación**

Los chiles son un alimento importante en la dieta mexicana e imparten sabor, aroma y color a los alimentos; son importantes para la salud humana ya que contienen compuestos biofuncionales y antioxidantes.

En México los chiles son símbolo de tradición, identidad cultural y una fuente importante de ingresos. Muchos platillos de la cocina mexicana incluyen el uso de chiles frescos o cocinados. Los métodos de cocinado brindan diferentes características sensoriales pero también afectan el contenido de compuestos biofuncionales y su actividad antioxidante; por esta razón el objetivo de éste trabajo fue evaluar los fitoquímicos y actividad antioxidante del chile chilaca fresco y seco (pasilla) cuando son sometidos a dos tratamientos térmicos: uno convencional como usualmente se hace en los hogares mexicanos y otro con el uso de una tecnología emergente que empieza a extender su aplicaciones: las microondas. Por lo tanto es de gran interés conocer cuál es la contribución de estos productos alimenticios en sus propiedades biofuncionales y como son afectadas durante el procesado en el hogar.

Aun en la actualidad se cree que el procesado de los alimentos ocasiona la degradación de los antioxidantes de los alimentos y reduce los beneficios que otorgan a la salud.

## 4. OBJETIVOS

### 4,1 Objetivo general

Evaluar el efecto del tratamiento térmico convencional y con microondas sobre el contenido de fitoquímicos (fenoles, ácido ascórbico, carotenoides y clorofilas), actividad antioxidante y color del chile chilaca fresco y seco (pasilla).

### 4.2 Objetivos particulares

- En el chile chilaca fresco y seco determinar:
  - Ácido ascórbico
  - Clorofilas totales, clorofila *a* y *b*
  - Carotenoides totales, fracción roja y fracción amarilla
  - Fenoles totales
- Evaluación de color por el sistema CIELAB en ambos chiles.
- Determinar la actividad antioxidante de clorofilas, carotenoides y fenoles por medio del ensayo DPPH (diphenyl-1-picrylhydrazyl) en los chiles sin tratamiento y con tratamiento.

## 5. Desarrollo experimental

### Tratamiento térmico:

- Convencional (agua y crema)
- Microondas (aguay crema)
  
- Ácido ascórbico
- Clorofila (a, b y T)
- Carotenoides (R, A y T)
- Fenoles

### Determinación

*Chile chilaca*

*(Capsicum annuum L.)*

Color (CIELAB)

Actividad antioxidante

DPPH

- Fresco
- Seco (pasilla)
-

## **4. Materiales y métodos**

### **6.1 Material vegetal**

El chile chilaca y pasilla se adquirieron en un mercado local de la Ciudad de México durante el mes de Septiembre de 2011. Los chiles fueron almacenados en refrigeración hasta su posterior uso.

## **6.2 Tratamientos térmicos**

### **6.2.1 Convencional**

Las condiciones de los tratamientos (Cuadro 2) se establecieron de acuerdo a estudios previos llevados a cabo en cada vegetal de acuerdo a la literatura e indicaciones en recetas domésticas para el preparado de salsas de chile chilaca y pasilla.

Para la salsa de chile chilaca se asaron los chiles durante 10 minutos sobre una plancha caliente, se dejaron en reposo dentro de una bolsa de plástico durante 15 minutos y se les retiró la cutícula, venas, semillas y pedúnculo. Posteriormente se colocó agua en un recipiente de vidrio resistente al calor y se inició su calentamiento para agregar los chiles previamente asados hasta comenzar la ebullición. Los chiles se mantuvieron en ebullición durante 10 minutos. Se elaboró también una salsa con crema entera, de una marca comercial (las cantidades se indican en el cuadro 2). Para la salsa de chile pasilla se colocaron los chiles sobre la plancha caliente durante 6 minutos. Se les retiraron las venas, semillas y pedúnculo. Posteriormente los chiles se sometieron a ebullición con agua durante 10 minutos; para la salsa con crema los chiles previamente asados se sometieron a ebullición durante el mismo tiempo.

**Cuadro 2. Condiciones de calentamiento en los tratamientos**

| <b>Componentes</b> |  | <b>Procedimiento 1</b> | <b>Procedimiento 2</b> |
|--------------------|--|------------------------|------------------------|
|--------------------|--|------------------------|------------------------|

| Chile (g)  | Agua (mL) | Crema (g) | Tratamiento  | Condiciones (asado)              | Condiciones (ebullición) |
|------------|-----------|-----------|--------------|----------------------------------|--------------------------|
| Pasilla 40 | 320       | -         | Microondas   | 2 min 922 W                      | 10 min 478 W             |
| Pasilla 40 | 320       | -         | Convencional | 6 min plancha caliente (190 °C)  | 10 min 96 °C             |
| Pasilla 40 | 255       | 100       | Microondas   | 2min 922 W                       | 10 min 478 W             |
| Pasilla 40 | 255       | 100       | Convencional | 6 min plancha caliente (190 °C)  | 10 min 96 °C             |
| Chilaca 60 | 155       | -         | Microondas   | 16 min 210 W                     | 4 min 478 W              |
| Chilaca 60 | 155       | -         | Convencional | 10 min plancha caliente (190 °C) | 10 min 96 °C             |
| Chilaca 60 | 80        | 75        | Microondas   | 16 min 210 W                     | 4 min 478 W              |
| Chilaca 60 | 80        | 75        | Convencional | 10 min plancha caliente (190 °C) | 10 min 96 °C             |

### 6.2.2 Microondas

Las condiciones del tratamiento se establecieron de acuerdo a estudios previos llevados a cabo en cada chile para homologar éste tratamiento con el tratamiento convencional. Para éste tratamiento se utilizó un microondas doméstico marca Samsung modelo NN-6468. La potencia del generador para esta unidad opera a una frecuencia de 2, 450 Mz.

Para la salsa de chile chilaca los chiles se colocaron en un plato de vidrio y se calentaron durante 16 minutos a 210 W (equivalente al asado); se dejaron en reposo en una bolsa de plástico durante 15 minutos y se les retiró la cutícula, venas, semilla y pedúnculo; los chiles se colocaron en un vaso de precipitados con agua para obtener la salsa; se calentaron durante 4 minutos a 478 W y se homogeneizó la mezcla en una licuadora durante 20 segundos. El mismo proceso se llevó a cabo para la salsa con crema.

Para elaborar la salsa de pasilla se calentaron los chiles en un plato de vidrio durante 2 minutos a 922 W; posteriormente se les retiró las venas, semillas y pedúnculo. Los chiles se colocaron en un vaso de precipitados con agua y se

calentaron durante 10 minutos a 478 W. El mismo proceso se llevó a cabo para la salsa con crema.

Para cada tratamiento (microondas y convencional) se registraron las temperaturas alcanzadas en los procesos con un termómetro (infrarrojo modelo 42500).

### **6.3 Análisis de fitoquímicos**

La determinación de fitoquímicos se llevó a cabo en los chiles tratados y en muestras de chile chilaca y pasilla que se homogeneizaron en una licuadora durante 2 minutos.

#### **6.3.1 Determinación de ácido ascórbico [Ranganna, 1986]**

Se tomó 1 g de muestra y se maceró con 50 mL de  $H_3PO_3$  al 3 %. Esta solución se filtró. Se tomó una alícuota de 2 mL en un tubo de ensayo; se añadió 2 mL de solución amortiguadora de acetatos (pH 4), 3 mL de solución de 2, 6 diclorofenol indofenol (0.0007 M) y 15 mL de xileno en una rápida sucesión. El tubo se tapó y agitó 10 s en vortex. La fase de xileno se extrajo y la absorbencia se leyó a 520 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10 UV, Termoelectric, US) . La absorbencia de la muestra se midió contra un blanco preparado como se describió, pero añadiendo agua destilada en lugar de la solución de 2,6 diclorofenol indofenol. El contenido de ácido ascórbico se expresó en mg de ácido ascórbico /100 g de material fresco, calculado a partir de una curva patrón.

#### **6.3.2 Determinación de clorofilas [Vernon, 1960]**

Para la extracción se pesó 1g de muestra y se maceró en un mortero con acetona al 80%. La mezcla obtenida se filtró al vacío empleando un embudo Buchner y papel filtro de 10 cm de diámetro (Whatman) No. 2. Se lavó el residuo con acetona al 80 %. La operación se repitió hasta la ausencia de color. El filtrado se aforó a un

volumen de 500 mL con acetona al 80%. A partir de los extractos se cuantificaron las clorofilas totales, clorofila a y b empleando un espectrofotómetro (Genesys 10 UV, Termoelectric, US) a diferentes longitudes de onda, de acuerdo a las siguientes formulas:

$$\text{Clorofila a} = 25.38 \cdot A_{662} + 3.64 \cdot A_{645}$$

$$\text{Clorofila b} = 30.38 \cdot A_{645} - 6.58 \cdot A_{662}$$

$$\text{Clorofila total} = 18.80 \cdot A_{662} + 34.02 \cdot A_{645}$$

Donde A es la absorbencia a la longitud de onda especificada. Los resultados se expresaron como mg/100 g de material seco.

### 6.3.3 Determinación de carotenoides [Matsufuji y cols. 2007]

Para la extracción se pesó 1g de muestra y se maceró en un mortero con acetona, se filtró al vacío empleando un embudo Buchner y papel filtro de 10 cm de diámetro (Whatman) No. 2. La operación se repitió hasta la ausencia de color. El filtrado se aforó a un volumen de 500 mL con acetona. Se transfirió 10 mL del filtrado a un embudo de separación y se agregó 10 mL de dietil éter y 10 mL de solución de NaCl al 10% para separar las fases. Se extrajo la fase etérea. A dicha fracción se le realizó un lavado con agua destilada para eliminar la acetona residual y se eliminó el agua residual empleando sulfato de sodio anhidro. La muestra extraída se evaporó con nitrógeno y se disolvió en 10 mL de benceno. Para su cuantificación se empleó un espectrofotómetro (Genesys 10 UV, Termoelectric, US) con una longitud de onda de 450 nm. El contenido de carotenoides totales se calculó usando un valor de  $E^{1\%}_{1\text{cm}}$  de 2300. Para conocer la concentración de carotenoides totales se emplea la siguiente fórmula:

$$X(\mu\text{g/g}) = (A \cdot Y \cdot 10^6) / (A^{1\%}_{1\text{cm}} \cdot 100 \cdot M)$$

Donde:

X: Concentración de los carotenoides

A: Absorbencia de la muestra a 450 nm

Y: Volumen final de la solución en mililitros

$E^{1\%}_{1\text{cm}}$ : Coeficiente de absorción en el solvente utilizado ( $E^{1\%}_{1\text{cm}} = 2300$ ).

M: Peso de la muestra en gramos

Los resultados se expresaron como mg/100 g de material seco.

### **6.3.4 Determinación de fenoles**

#### **Extracción de fenoles [Turkmen y cols., 2005]**

Se pesó 1g de muestra y se extrajo con 4.5 mL de metanol al 80% en una parrilla de agitación durante 2 horas. La mezcla se centrifugó a 10 000 rpm por 15 minutos, el sobrenadante se colocó en un frasco ámbar; el pellet se extrajo y se sometió a las mismas condiciones de extracción. Ambos sobrenadantes se combinaron y se filtraron en un filtro de jeringa Acrodisc de 0.45 micras.

#### **Cuantificación de fenoles totales [Velioglu y cols., 1998]**

Se tomó una alícuota del extracto de fenoles (100µL) en un vial y se mezcló con 750 µL de solución de Folin-Ciocalteu (para fenoles) al 10%; se dejó en reposo por 5 minutos y se agregó 750 µL de solución de bicarbonato de sodio al 6%. La absorbencia se midió a 760 nm después de 90 minutos a temperatura ambiente. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico/ 100 g de material seco calculados a partir de una curva patrón.

### **6.4 Determinación de color**

Tres muestras se tomaron para medir el color usando un colorímetro (Konica Minolta CR-10) que se basa en el sistema de color CIELAB. Para la medición de

color las muestras frescas y tratadas se colocaron dentro de una caja de vidrio [Turkmen y cols., 2006]. El equipo indica por sí mismo los valores de L\*,a\*, b\* C y h°.

## **6.5 Determinación de actividad antioxidante DPPH**

### **6.5.1 Clorofilas [Lanfer-Marquez y cols.,2005]**

Esta metodología se basa en la medición de la habilidad de los antioxidantes en atrapar el radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil). Se tomaron 25 mL del extracto de clorofilas y se colocó en un embudo de separación, se agregaron 10 mL éter de petróleo y agua destilada fría, después de agitar la mezcla se descargó la fase acuosa. La fase etérea se deshidrató empleando sulfato de sodio anhidro; esta solución se evaporó con nitrógeno y se resuspendió en 10 mL de acetona. Del extracto acetónico se tomaron 75 µL (a una concentración de 1mMol/L) y se agregaron 3 mL de solución metanólica DPPH (  $6 \times 10^{-5}$  Mol/L). La reducción del DPPH se midió monitoreando la disminución de la absorbencia a 515 nm a 0, 5 y 30 minutos en un espectrofotómetro (Genesys 10 UV, Termoelectric, US). La actividad antioxidante se expresa como porcentaje de inhibición y se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Inhibición} = (\text{Abs}_{t=0 \text{ min}} - \text{Abs}_{t=30 \text{ min}}) / (\text{Abs}_{t=0 \text{ min}}) \times 100$$

### **6.5.2 Carotenoides [Liu y cols., 2008]**

Para llevar a cabo la reacción se tomó 1mL de extracto de carotenoides y se evaporó con nitrógeno. El extracto se resuspendió en etanol-hexano (1:1v/v). Se mezclaron 2 mL de extracto de carotenoides disueltos en etanol-hexano (ajustado a una concentración de 0.13 mmol/L basada en el peso molecular del β-caroteno) con 1 mL de solución de DPPH en etanol (0.3 mmol/L). La mezcla se agitó en vórtex y se midió a 540 nm con un espectrofotómetro (Genesys 10 UV, Termoelectric, US) después de 20 minutos de incubación a temperatura ambiente

en la oscuridad. El porcentaje de inhibición se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ inhibición} = 100 - \left\{ \frac{(\text{Abs}_{\text{muestra}} - \text{Abs}_{\text{blanco}}) \times 100}{\text{Abs}_{\text{control}}} \right\}$$

Donde  $\text{Abs}_{\text{muestra}}$  es la absorbencia del antioxidante más la solución de DPPH,  $\text{Abs}_{\text{blanco}}$  es la absorbencia del antioxidante más etanol-hexano y  $\text{Abs}_{\text{control}}$  es la absorbencia de la solución de DPPH mas etanol-hexano.

### 6.5.3 Fenoles [Turkmen y cols., 2005]

Se tomaron 1.5 mL de solución DPPH en metanol (0.1mM) y se mezclaron con 0.5mL de los extractos de fenoles (ajustado a una concentración de 6mg/mL). Se utilizó metanol puro como control. La mezcla se agitó en vórtex y se midió a 517 nm con un espectrofotómetro (Genesys 10 UV, Thermoelectric, US) después de 60 minutos de incubación a temperatura ambiente en la oscuridad. El porcentaje de inhibición se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ inhibición} = \left( \frac{\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{muestra}}}{\text{Abs}_{\text{control}}} \right) \times 100$$

### 6.6 Análisis estadístico

Los datos se registraron como los valores promedio  $\pm$  la desviación estándar de tres datos; se analizaron por medio del programa Sigma Stat (versión 3.5) mediante análisis de variancia de dos vías y la prueba SNK de rangos múltiples ( $\alpha = 0.05$ ).

## 5. Resultados y discusión

En el cuadro 3 y 4 se muestran las temperaturas registradas durante los tratamientos en las muestras de chile pasilla y chilaca respectivamente.

**Cuadro 3. Temperaturas registradas en el chile pasilla durante los tratamientos**

| Muestra   | Fase       | Tratamiento  | T (°C) <sup>a</sup><br>Procedimiento<br>1 | T (°C) <sup>a</sup><br>Procedimiento<br>2 |
|---|------------|--------------|---|---|
| <i>Sin tratar</i>                                   |            | Sin tratar   |   |   |
| <i>Microondas</i>                                   | Agua       | Microondas   | 95.75 ± 2.1 <sup>a</sup>                  | 92.75 ± 3.6 <sup>a</sup>                  |
| <i>Convencional</i><br><i>I</i>                     | Agua       | Convencional | 118 ± 6.3 <sup>b</sup>                    | 93.25 ± 2.8 <sup>a</sup>                  |
| <i>Microondas</i><br><i>con crema</i>               | Agua-crema | Microondas   | 96.75 ± 9.14 <sup>a</sup>                 | 79.47 ± 2.4 <sup>b</sup>                  |
| <i>Convencional</i><br><i>I</i><br><i>con crema</i> | Agua-crema | Convencional | 113 ± 15.7 <sup>b</sup>                   | 91.5 ± 2.7 <sup>a</sup>                   |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media ± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes (p<0.05)

El análisis estadístico indicó que el promedio de las temperaturas alcanzadas en el chile pasilla son significativamente más grandes (p<0.05) que las de chile chilaca y se alcanzaron temperaturas significativamente más altas (p<0.05) durante el primer procedimiento (asado) que durante el segundo (ebullición).

**Cuadro 4. Temperaturas registradas en el chile chilaca durante los tratamientos**

| Muestra   | Fase       | Tratamiento  | T (°C) <sup>a</sup><br>Procedimiento<br>1 | T (°C) <sup>a</sup><br>Procedimiento<br>2 |
|---|------------|--------------|---|---|
| <i>Sin tratar</i>                                   |            | Sin tratar   |   |   |
| <i>Microondas</i>                                   | Agua       | Microondas   | 81.65 ± 1.4 <sup>b</sup>                  | 80 ± 1.6 <sup>a</sup>                     |
| <i>Convencional</i><br><i>I</i>                     | Agua       | Convencional | 91.75 ± 13.4 <sup>a</sup>                 | 80.75 ± 4.9 <sup>a</sup>                  |
| <i>Microondas</i><br><i>con crema</i>               | Agua-crema | Microondas   | 80.5 ± 3.4 <sup>b</sup>                   | 77.5 ± 2.9 <sup>a</sup>                   |
| <i>Convencional</i><br><i>I</i><br><i>con crema</i> | Agua-crema | Convencional | 90 ± 5.7 <sup>a</sup>                     | 69.5 ± 4.1 <sup>b</sup>                   |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes (p<0.05)

## 7.1 Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fitoquímicos

### 7.1.1 Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico es considerado como un indicador de calidad de los alimentos debido a su baja estabilidad durante su procesado [Vega-Gálvez y cols., 2009]; se destruye por el almacenamiento prologando, es sensible a la luz y al oxígeno. La ingesta diaria recomendada para ésta vitamina es de 50 a 60 mg por día; se ha reportado que el consumo de especies de chile en México es de 20g/persona/día [Ornelas-Paz, 2010]; según se observa en el Cuadro 5 el chile chilaca fresco presenta un contenido de ácido ascórbico de 221.3 mg/ 100 g de material fresco, si consideramos la ingesta de 20 gramos de éste chile casi se cubre la ingesta diaria recomendada.

**Cuadro 5. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de ácido ascórbico**

| <i>Muestra</i>                | Ácido ascórbico (mg/100 g) <sup>a</sup><br>Base húmeda |              |                             |              |
|-------------------------------|--|--------------|-----------------------------|--------------|
|                               | <i>Pasilla</i>   | % de pérdida | <i>Chilaca</i>              | % de pérdida |
| <i>Sin tratar</i>             | 81.27 ± 0.21 <sup>a</sup>                              | -            | 221.3 ± 5.87 <sup>a</sup>   | -            |
| <i>Microondas</i>             | 40.78 ± 0.21 <sup>b</sup>                              | 50           | 104.39 ± 0.84 <sup>b</sup>  | 53           |
| <i>Convencional</i>           | 38.41 ± 0.07 <sup>b</sup>                              | 53           | 92.05 ± 0.52 <sup>c</sup>   | 58           |
| <i>Microondas con crema</i>   | 55.59 ± 3.47 <sup>c</sup>                              | 32           | 132.752 ± 2.82 <sup>d</sup> | 40           |
| <i>Convencional con crema</i> | 46.60 ± 1.83 <sup>d</sup>                              | 43           | 122.353 ± 3.21 <sup>e</sup> | 45           |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes (p<0.05).

Ornelas-Paz y cols., [2011] informan un contenido de 247.3 mg/100g (b.h.) de ácido ascórbico en el chile chilaca fresco y una pérdida del 28% durante el asado por 10 minutos en una plancha caliente (210°C).

Según se observa en el Cuadro 5 todas las muestras de chile chilaca y pasilla mostraron una reducción significativa ( $p < 0.05$ ) en el contenido de ácido ascórbico encontrándose diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las muestras evaluadas en ambos chiles; en éstas muestras el tratamiento con microondas ocasionó menor pérdida de ácido ascórbico que el tratamiento convencional ( $p < 0.05$ ). Greco y cols. [2007] indican una reducción de ácido ascórbico (28%-73%) en pimientos tratados por diferentes métodos. Bernhardt y Schlich [2006] notifican una reducción (70%-42%) en el contenido de ácido ascórbico en chile verde sometido a diferentes tratamientos. Chuah y cols. en 2008 tienen una disminución (20%-45%) de ácido ascórbico en diferentes chiles tratados. Los anteriores autores indican que el tratamiento con microondas asegura una mayor retención de éste compuesto. De la misma manera otros estudios han informado la disminución de ácido ascórbico en coliflor, zanahoria [Mazzeo y cols., 2011] y brócoli [Zhang y Hamauzu, 2004] encontrándose que el hervido generalmente produce un mayor impacto en la disminución de ácido ascórbico respecto a otros tratamientos térmicos como las microondas [Zhang y Hamauzu, 2004].

Se han propuesto otros factores que producen la degradación de ácido ascórbico como el grado de calentamiento, área expuesta al agua y al oxígeno, pH, presencia de metales de transición, niveles de enzimas destructoras de ácido ascórbico (ácido ascórbico oxidasa), oxidación durante la preparación, el grosor del pericarpio entre otros factores que facilitan la oxidación [Ornelas-Paz, y cols., 2011, Chuah y cols., 2008] a ácido dehidroascórbico (Fig.9) , seguido por su hidrólisis a ácido 2,3-dicetogulónico y eventualmente la polimerización a otros componentes nutricionalmente inactivos [Davey y cols., 2008].



**Fig. 9** Degradación de ácido ascórbico

En 2008, Chuah y cols., demostraron que la suma del ácido ascórbico en el tejido de chiles tratados y en el agua de ebullición casi igualaban al contenido de ácido ascórbico en los chiles frescos. En éste trabajo el agua de ebullición se utilizó para la elaboración de la salsa; por tal motivo se puede atribuir la pérdida de éste componente a otros factores como a la susceptibilidad a la temperatura y oxígeno más no así a la pérdida por su alta solubilidad en el agua.

En el Cuadro 5 se puede observar que la adición de crema tuvo un efecto positivo al lograr pérdidas significativamente menores ( $p < 0.05$ ) de ácido ascórbico en el chile chilaca y pasilla; lo anterior puede ser debido a que se disminuye su lixiviación por la presencia de la crema, además de que el contacto con el oxígeno y la luz es menor.

En este estudio se encontró que el ácido ascórbico en el chile pasilla es de 81.27 mg/100 g ; Bravo-Lozano y cols. [2006] reportan un contenido menor (66 mg/100 g) en éste chile. Las diferencias en el contenido de ácido ascórbico además de ser debidas a muchos factores como: origen geográficos, cultivar (genotipo), condiciones de cultivo, época de cosecha, estado de madurez (color), variación en los métodos de extracción y cuantificación, [Howard y cols., 2000, Deepa y cols., 2006] también deben su variación al tipo de secado al que ha sido sometido el chile ya que los valores altos de ácido ascórbico corresponden a chiles sometidos a secado solar los cuales son significativamente mayores de los valores de los chiles deshidratados por aire caliente, debido a la sensibilidad de la vitamina a la temperatura [Lozano y cols., 2006].

Se han hecho estudios sobre el tratamiento térmico de algunas variedades de chiles pero todas frescas. No existen análisis sobre el tratamiento térmico en chiles secos. En el Cuadro 5 se observa que las muestras de chile pasilla tratadas presentan una reducción significativamente menor ( $p < 0.05$ ) en el contenido de ácido ascórbico que las de chile chilaca; en un estudio se encontró que los chiles verdes pierden más vitamina C que los chiles rojos (como el pasilla) ya que los últimos contienen más carotenoides y capasicinoides que los chiles verdes y éstos compuestos pueden evitar de manera indirecta la oxidación del ácido ascórbico [Ornelas-Paz y cols., 2011].

### **7.1.2. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de clorofilas**

La clorofila es el pigmento vegetal más abundante de la naturaleza, ya que la mayoría de las plantas la contienen; se localiza en los cloroplastos y se puede encontrar unida a lípidos, proteínas, lipoproteínas y carotenoides [Lanfer-Marquez y cols., 2005]. La clorofila se altera fácilmente por diversos agentes como son los oxidantes, temperaturas altas, luz, pH, condiciones de acidez y algunas enzimas [Koca y cols. 2005]; la mayor cantidad de clorofilas encontradas en la naturaleza incluyen a la clorofila *a* y clorofila *b* [Ferruzzi y Blakeslee, 2007]; en éste estudio se encontró una cantidad significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) de clorofila *a* que clorofila *b* en el chile chilaca y pasilla (Cuadros 6 y 7) lo cual concuerda con lo reportando con anterioridad [Koca y cols. 2005, Turkmen y cols., 2006, Mazzeo y cols., 2011].

En el Cuadro 6 se muestra el contenido de clorofilas en el chile chilaca; se observa que el contenido de clorofilas en el chile fresco (415.5 mg/100g) comparado con el pasilla (60.05 mg/100g) es significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) y se observa que en el proceso de secado se perdió el 85% del contenido de clorofilas; ésta desaparición gradual de las clorofilas parece ser el resultado de la pérdida de su funcionalidad una vez que la fotosíntesis se bloquea [Hornero-Méndez y cols., 2000]. El contenido de clorofilas en el chile chilaca no se encuentra disponible en

la literatura y existen pocas investigaciones de éste componente en chiles, sin embargo Burns y cols. [2003] informan 412.5 mg/100 g (b.s.) de clorofila a y 385.3 mg/100 g (b.s.) de clorofila b en chile verde (*Capsicum annuum*) originario de Holanda. Roca y Mínguez-Mosquera [2006] reportan 120-170 mg/100 g (b.s.) de clorofilas totales en diferentes chiles verdes (*Capsicum annuum*) los cuales adquieren tonalidades rojas al alcanzar su madurez completa. Estas discrepancias pueden ser debidas a la variedad analizada así como a los métodos de extracción y cuantificación.

**Cuadro 6. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de clorofilas en chile chilaca**

| Muestra                       | Clorofilas a, b y totales (mg/100g) en chile chilaca <sup>a</sup> |              |                          |              |                          |              |
|-------------------------------|---|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
|                               | Base seca   |              |                          |              |                          |              |
|                               | a   | % de pérdida | b                        | % de pérdida | Total                    | % de pérdida |
| <i>Sin tratar</i>             | 320.21 ±2.72 <sup>a</sup>   |              | 95.24 ±4.64 <sup>a</sup> |              | 415.5 ±7.12 <sup>a</sup> |              |
| <i>Microondas</i>             | 284.19 ±4.34 <sup>b</sup>   | 11           | 93.21 ±3.54 <sup>a</sup> | 2.13         | 377.4 ±6.44 <sup>b</sup> | 9            |
| <i>Convencional</i>           | 274.39 ±2.9 <sup>c</sup>  | 14           | 83.5 ±2.55 <sup>b</sup>  | 12.33        | 357.9 ±5.49 <sup>c</sup> | 14           |
| <i>Microondas con crema</i>   | 19.53 ±2.08 <sup>d</sup>  | 94           | 14 ±1.2 <sup>c</sup>     | 85.30        | 33.52 ±3.26 <sup>d</sup> | 92           |
| <i>Convencional con crema</i> | 25.04 ±1.88 <sup>e</sup>  | 92           | 15.22 ±0.67 <sup>c</sup> | 84.02        | 40.26 ±2.54 <sup>d</sup> | 90           |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes (p<0.05).

Se ha encontrado que en los vegetales verdes los tratamientos térmicos producen efectos negativos en el contenido de clorofilas [Mazzeo y cols., 2011]. Además de su efecto negativo por el efecto de la temperatura se considera que los tratamientos térmicos causan degradación por efecto de ácidos débiles, oxígeno y exposición a la luz lo cual lleva a la formación de productos de degradación. Las principales rutas de degradación de clorofilas están asociadas a la formación de feofitinas y feoforbidos (Fig.9) [Koca y cols., 2005, Cruz-García y cols., 1997, Turkmen y cols., 2006], lo cual resulta en una perceptible decoloración de los tejidos vegetales [Ferruzzi y Blakeslee, 2007].

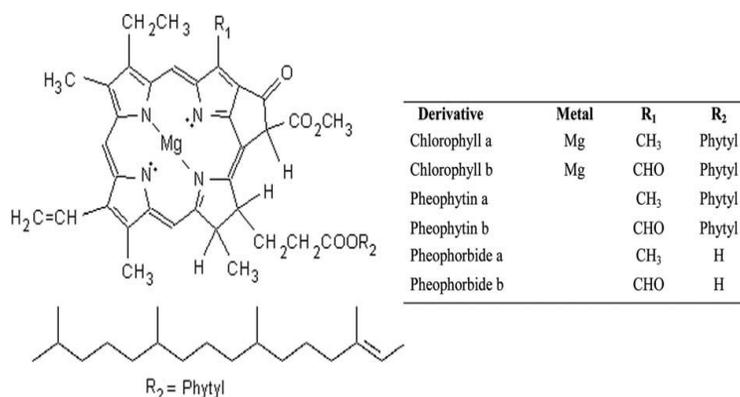


Fig. 9 Estructura de los derivados clorofílicos [Lanfer-Marquez y cols., 2005]

En éste trabajo el contenido de clorofilas totales disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) en todas las muestras de chile chilaca, solo las muestras en fase de crema tratadas convencionalmente y con microondas no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Se puede observar en el Cuadro 6 que el tratamiento con microondas retuvo 5% más clorofilas totales en la muestra de chile chilaca sin crema que el tratamiento convencional, lo anterior puede deberse a que durante el tratamiento con microondas la liberación de ácidos orgánicos hacia el exterior de la célula es menor [Cruz-García y cols., 1997; Turkmen y cols., 2006]. Por otro lado, las muestras con crema mostraron una concentración significativamente menor ( $p < 0.05$ ) de clorofilas totales que las muestras sin ella; lo anterior puede ser debido a que la crema obstaculiza la lixiviación de las clorofilas hacia el exterior de las células y también la acidez de la crema puede favorecer su degradación [Koca y cols., 2005].

En la literatura existen pocos estudios sobre la degradación de clorofilas en vegetales verdes; Mazzeo y cols. [2011], indican una disminución pequeña pero significativa en las clorofilas totales de espinaca cuando se somete a cocinado al vapor. Turkmen y cols. [2006] informan la reducción del contenido de clorofilas en varios vegetales sometidos a diferentes tratamientos, incluido el cocinado con microondas del cual se observa que tiene un menor efecto sobre la degradación de clorofilas *a* y *b*.

Es importante observar en el Cuadro 6 que la clorofila *b* es térmicamente más estable que la clorofila *a* ya que hay una degradación significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) de clorofila *a* que de clorofila *b* (en las muestras sin crema) lo cual está de acuerdo con investigaciones anteriores [Koca y cols., 2005; Turkmen y cols., 2006].

Los chiles chilaca inmaduros son verdes en diferentes tonalidades, antes de madurar se tornan de color verde oscuro brillante, cuando esto ocurre los chiles están listos para su corte y para su consumo [Bravo-Lozano y cols., 2006]; al madurar los chiles se produce la degradación de clorofilas [Roca y Mínguez-Mosquera, 2006] y adquieren una tonalidad café y/o negra. Debido a lo anterior se esperaría que el contenido de clorofilas en chile pasilla (Cuadro 7) sea casi nulo sin embargo no es así. Roca y Mínguez-Mosquera, en 2006 estudiaron la degradación de clorofilas en 5 variedades de chile (*Capsicum annum*) durante casi 3 meses y observaron que las variedades que maduraban hasta el color rojo rápidamente perdían su contenido de clorofilas y las variedades que maduraban hasta el color café mantenían altos niveles de clorofila por más tiempo; informaron que la variedad “Negral” tenía 60 mg/100 g (b.s.) de clorofilas a los 60 días de cosecha, éste valor es semejante al encontrado en este trabajo. Burns y cols., [2003] también indican un alto nivel de clorofilas en chile Mulato.

En el Cuadro 7 se muestra el efecto de los tratamientos térmicos sobre el contenido de clorofila *a*, *b* y total en el chile pasilla. Se observa que las muestras de chile tratado sin crema tienen un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) en la concentración de clorofilas totales respecto a la muestra sin tratar; en la salsa con crema tratada con microondas no se observaron cambios ( $p > 0.05$ ) mientras que en la muestra tratada con microondas se incrementó el contenido de clorofilas totales ( $p < 0.05$ ) respecto al chile sin tratamiento. No existen antecedentes en la literatura sobre el tratamiento en chiles secos sin embargo; se ha observado con anterioridad en el caso de los carotenoides y fenoles [Cruz-García y cols., 1997; Chuah y cols., 2008; Bernharrdt y Schlich, 2006] que los tratamientos térmicos permiten la liberación de los componentes debido al rompimiento de las

membranas celulares de los tejidos y a la desnaturalización de las proteínas que acompañan a los fitoquímicos [Rodríguez-Amaya, 1997; Bernhardt y Schlich, 2006]. Aunque lo anterior puede explicar el incremento de las clorofilas, se observa en el Cuadro 7 que la cantidad de clorofilas totales determinadas en las muestras tratadas sin crema es más del triple del contenido de clorofilas en el chile pasilla, lo cual no resulta convincente. Por lo tanto puede ser que en las muestras de chile pasilla se estén cuantificando otros derivados clorofilicos que absorben a longitudes de onda cercanas a las determinadas para la clorofila *a* y *b* y totales por lo cual es preferible el uso de técnicas cromatográficas para analizar una mezcla de pigmentos [Schoefs y cols., 2002].

**Cuadro 7. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de clorofilas en chile pasilla**

| Muestras                      | Clorofilas <i>a</i> , <i>b</i> y totales (mg/100g) en chile pasilla <sup>a</sup> |             |                          |             |                           |             |
|-------------------------------|--|-------------|--------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
|                               | Base seca  |             |                          |             |                           |             |
|                               | a  | % de cambio | b                        | % de cambio | Total                     | % de cambio |
| <i>Sin tratar</i>             | 47.76 ±1.38 <sup>b</sup>   |             | 12.29 ±0.89 <sup>a</sup> |             | 60.05 ±2.01 <sup>a</sup>  |             |
| <i>Microondas</i>             | 146.51 ±2.28 <sup>a</sup>  | 207         | 52.89 ±5.31 <sup>b</sup> | 330         | 199.4 ± 3.48 <sup>b</sup> | 232         |
| <i>Convencional</i>           | 144.41 ±2.83 <sup>a</sup>  | 202         | 39.88 ±4.44 <sup>c</sup> | 224         | 184.3 ± 3.1 <sup>c</sup>  | 207         |
| <i>Microondas con crema</i>   | 40.66 ±3.52 <sup>c</sup>   | -15         | 16.81 ±1.23 <sup>a</sup> | 36          | 57.47 ± 4.69 <sup>a</sup> | -4          |
| <i>Convencional con crema</i> | 54.04 ±1.6 <sup>d</sup>  | 13          | 21.29 ±1.19 <sup>d</sup> | 73          | 75.33 ± 2.71 <sup>d</sup> | 25          |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes (p<0.05).

### 7.1.3. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de carotenoides

Los carotenoides son los pigmentos naturales responsables del color amarillo, naranja y rojo en el chile. Los principales carotenoides en el chile son: β-caroteno, luteína y capsantina [Sun y cols., 2007, Vega-Gálvez y cols., 2009]. En el Cuadro 8 se observa que el contenido de carotenoides en el chile chilaca es de 21.3

mg/100g; Ornelas-Paz y cols. [2011] informan un contenido de carotenoides semejante (19 mg/100 g) al determinado en este estudio.

**Cuadro 8. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de carotenoides en chile chilaca**

| Muestras                      | Carotenoides (mg/100g) <sup>a</sup><br>Base seca |             |                           |             |                           |             |
|-------------------------------|--|-------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
|                               | Totales  | % de cambio | Fracción roja             | % de cambio | Fracción amarilla         | % de cambio |
| <i>Sin tratar</i>             | 21.31 ± 1.51 <sup>a</sup>                        |             | 7.10 ± 0.17 <sup>a</sup>  |             | 14.21 ± 1.34 <sup>a</sup> |             |
| <i>Microondas</i>             | 60.42 ± 0.75 <sup>b</sup>                        | 184         | 10.68 ± 0.88 <sup>a</sup> | 50          | 49.74 ± 0.72 <sup>b</sup> | 250         |
| <i>Convencional</i>           | 51.35 ± 3.51 <sup>c</sup>                        | 141         | 8.99 ± 0.49 <sup>a</sup>  | 27          | 42.36 ± 3.03 <sup>b</sup> | 198         |
| <i>Microondas con crema</i>   | 20.75 ± 1.5 <sup>a</sup>                         | - 3         | 3.49 ± 0.27 <sup>b</sup>  | - 51        | 17.26 ± 1.28 <sup>a</sup> | 21          |
| <i>Convencional con crema</i> | 22.69 ± 4.34 <sup>a</sup>                        | 6           | 1.91 ± 1.39 <sup>b</sup>  | - 73        | 20.78 ± 4.36 <sup>a</sup> | 46          |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media ± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes (p<0.05).

Los carotenoides presentes en el chile se pueden clasificar en dos familias: la fracción roja y la fracción amarilla. La fracción roja contiene los pigmentos exclusivos del género *Capsicum* que son sintetizados durante la maduración del fruto: capsantina, capsorrubina y capsantina-5,6-epóxido; la fracción amarilla contiene el resto de los pigmentos (zeaxantina, violaxantina, anteraxantina, β-criptoxantina y β-caroteno) que son precursores de los rojos (Fig.10) [Hornero-Méndez y cols. 2000]. En el cuadro 8 se puede observar que el chile chilaca analizado ya presenta carotenoides rojos, lo cual se esperaba porque a simple vista se observaban áreas rojas en el pericarpio. En el estudio llevado a cabo por Hornero-Méndez y cols., en 2000 analizaron la evolución del contenido de carotenoides totales y las dos fracciones durante la maduración de 5 cultivares, en el estudio se observa que en el estado de madurez inicial donde comienza el desarrollo del color verde se cuantifican solo carotenoides amarillos, estos descienden gradualmente y eventualmente desaparecen; en ese estado de inmadurez la luteína es el principal carotenoide de la mayoría de las variedades de

chiles inmaduros y representa más del 60% del total de los carotenoides presentes [Guil-Guerrero y Martínez Guirardo, 2006]. La síntesis de pigmentos carotenoides rojos ocurre entonces durante la madurez del chile, dando a las diferentes variedades un característico color [Guil-Guerrero y Martínez Guirardo, 2006].

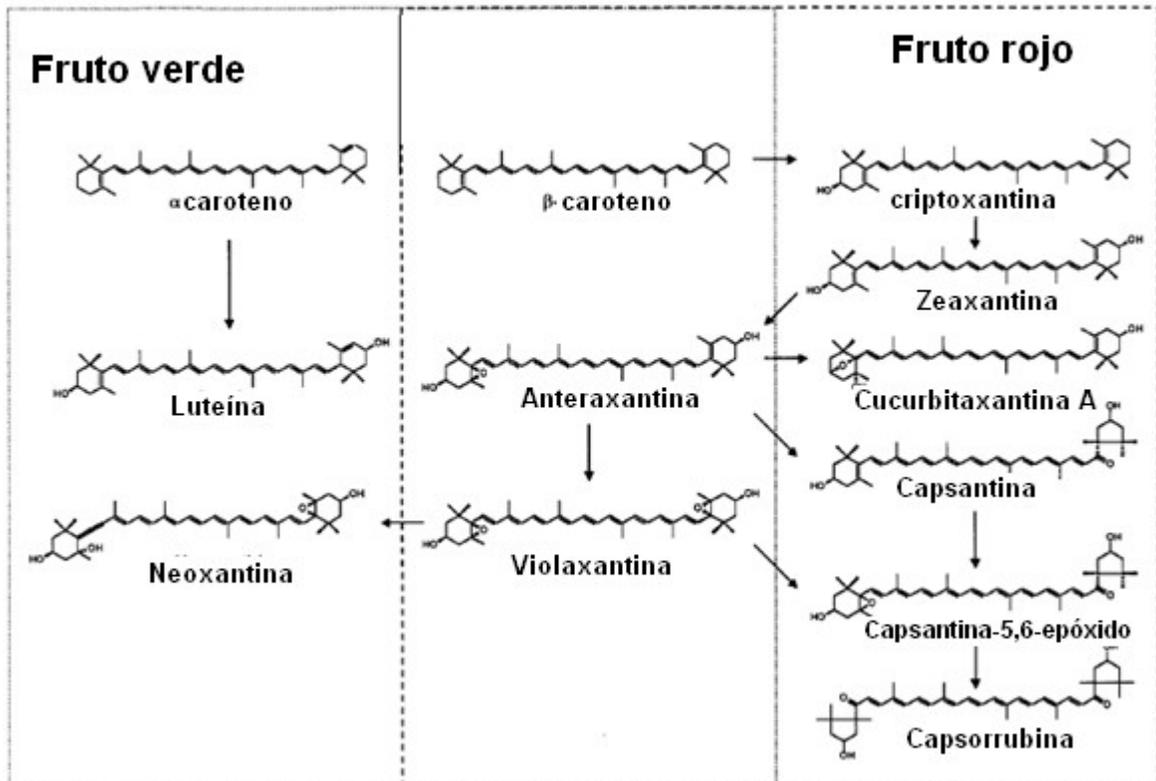


Fig. 10. Biosíntesis de carotenoides en *Capsicum annuum* [Hornero-Méndez y cols., 200]

Como se puede observar en el Cuadro 8 las muestras de chile chilaca en fase de agua y crema mostraron un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) en el contenido de carotenoides totales respecto a al chile sin tratamiento; en éstas muestras no se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los dos tratamientos. El incremento en el contenido de carotenoides en vegetales tratados se ha observado con anterioridad y se atribuye a que el tratamiento térmico favorece la extracción de éstos pigmentos debido al rompimiento y destrucción de las paredes celulares [Cruz-García y cols., 1997, Chuah y cols., 2008, Bernharardt y Schlich, 2006]. También puede ser debido a la destrucción de los complejos carotenoides-

proteína ya que durante el procesado las proteínas pueden sufrir una desnaturalización y liberar a los carotenoides; estas carotenoproteínas también tienen un efecto inhibitorio sobre la digestión y absorción de carotenoides [Rodríguez-Amaya, 1997].

De las dos muestras sin crema se observa que el chile chilaca tratado con microondas tiene una cantidad significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) de carotenoides totales que el chile tratado convencionalmente. En un estudio realizado recientemente [Ornelas-Paz y cols. 2011] asaron el chile chilaca durante 10 minutos; los autores no encontraron cambios en el contenido de carotenoides en el chile tratado y sin tratar; en éste estudio los chiles primero se asaron y después se sometieron a ebullición; por lo anterior se puede inferir que posiblemente el incremento en el contenido de carotenoides se dio durante la ebullición y durante este proceso los carotenoides ya extraídos sufrieron una mayor degradación durante el tratamiento convencional ya que en esta forma (extraídos) son más vulnerables a la oxidación [Rodríguez-Amaya, 1997].

En el Cuadro 9 se muestra el contenido de carotenoides en el chile pasilla y el efecto del tratamiento térmico sobre éste componente; en la literatura no se encuentran disponibles investigaciones de carotenoides de chile pasilla, sin embargo; Hornero-Méndez y cols. [2000] encontraron diferentes valores de carotenoides totales para diferentes chiles maduros que alcanzan tonalidades rojas y negras; por ejemplo, los chiles “Delfin”, “Belrubí”, “Numex” y “Negral” tienen 313.8, 363.1, 303.5 y 378.1 mg/100 g (b.s.) de carotenoides totales respectivamente y todos tienen como principal componente de la fracción roja a la capsantina y de la fracción amarilla a la zexantina.

**Cuadro 9. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de carotenoides en chile pasilla**

| Muestras                      | Carotenoides (mg/100g) <sup>a</sup> |             |                             |             |                           |             |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
|                               | Base seca                           |             |                             |             |                           |             |
|                               | Totales                             | % de cambio | Fracción roja               | % de cambio | Fracción amarilla         | % de cambio |
| <i>Sin tratar</i>             | 235.39 ± 0.87 <sup>a</sup>          |             | 175.7 ± 3.30 <sup>a</sup>   |             | 59.7 ± 2.44 <sup>a</sup>  |             |
| <i>Microondas</i>             | 371.90 ± 7.54 <sup>b</sup>          | 58          | 225.15 ± 9.36 <sup>b</sup>  | 28          | 146.7 ± 6.29 <sup>b</sup> | 146         |
| <i>Convencional</i>           | 214.74 ± 10.44 <sup>c</sup>         | - 9         | 136.5 ± 13.03 <sup>c</sup>  | - 22        | 78.23 ± 3.62 <sup>c</sup> | 31          |
| <i>Microondas con crema</i>   | 118.41 ± 3.25 <sup>d</sup>          | - 50        | 72.33 ± 7.24 <sup>d</sup>   | - 59        | 46.08 ± 5.23 <sup>d</sup> | - 23        |
| <i>Convencional con crema</i> | 149.94 ± 6.32 <sup>e</sup>          | - 36        | 112.96 ± 19.31 <sup>e</sup> | - 36        | 36.97 ± 4.77 <sup>e</sup> | - 38        |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes (p<0.05).

En el Cuadro 9 se observa que el chile pasilla con agua tratado con microondas tiene significativamente (p<0.05) más carotenoides totales que el chile sin tratamiento, también se observa que la muestra con agua tratada convencionalmente tiene una cantidad significativamente menor de carotenoides respecto del chile pasilla sin tratamiento, de la misma manera las dos muestras con crema tienen una cantidad significativamente (p<0.05) menor de carotenoides totales que el chile pasilla; todas las muestras mostraron diferencias significativas (p<0.05) en el contenido de carotenoides totales entre ellas. Se puede observar también que la cantidad de carotenoides de la fracción roja es significativamente mayor (p<0.05) que los de la fracción amarilla como se esperaba.

Como se observó en el chile chilaca los carotenoides del chile pasilla pudieron haber experimentado una liberación en la fase de agua al haber rompimiento celular y posiblemente el tratamiento convencional pudo haber dañado los carotenoides ya extraídos de allí que la cantidad de carotenoides sea menor en el tratamiento convencional; si comparamos esta muestra con la tratada con microondas tiene 42.2 % menos carotenoides y según se observa en el Cuadro 9 tiene menos carotenoides rojos que amarillos lo cual indica diferencias

estabilidades térmicas de los diferentes carotenoides. Pérez-Gálvez y cols. [2000] indican que los carotenoides de la fracción roja de diferentes oleorresinas se degradan con más facilidad que los de la fracción amarilla. También se ha encontrado que el  $\beta$ -caroteno permanece estable durante el tratamiento térmico (microondas y ebullición) de chiles frescos y congelados [Bernhardt y Sclich, 2006].

En las muestras de chile pasilla con crema tratadas por los dos métodos también se observa que pierden significativamente ( $p < 0.05$ ) más carotenoides rojos que amarillos lo cual indica que los primeros son más sensibles al tratamiento térmico.

Anteriormente se han llevado a cabo gran variedad de estudios [Chuah y cols., 2008, Ornelas-Paz, 2011, Jaramillo-Flores y cols., 2003, Bernhardt y Sclich, 2006, Mazzeo y cols., 2011, Zhang y Hamauzu., 2004] sobre el contenido de carotenoides en diversos vegetales antes y después de ser sometidos a diferentes tratamientos térmicos; los resultados observados son diversos (sin cambios, disminución e incremento); varían de acuerdo al vegetal y la forma de procesarlos. Tal diversidad de resultados puede indicar que la combinación adecuada tiempo-temperatura pueden modificar la estructura celular para tener una mejor extracción de carotenoides en cada vegetal [Jaramillo-Flores y cols., 2003].

#### **7.1.4. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fenoles**

Los compuestos fenólicos son un grupo de metabolitos secundarios que han despertado el interés de los investigadores en años recientes debido a que han mostrado ser poderosos antioxidantes que pueden proteger al cuerpo humano de los radicales libres [Oboh y Rocha, 2007].

Los compuestos fenólicos de chile chilaca y pasilla antes y después del tratamiento térmico se muestran en el Cuadro 9; puede observarse un comportamiento diferente en ambos chiles; en las muestras tratadas de chile

pasilla se cuantificaron mayor cantidad ( $p < 0.05$ ) de fenoles respecto a la muestra sin tratar mientras que en el chile chilaca el contenido de fenoles se redujo significativamente ( $p \leq 0.5$ ). Las salsas de los dos chiles son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre ellas Ornelaz-Paz y cols., (2010) informan un incremento significativo de fenoles (de 1222 a 2346 mg/100 g en base seca) en el chile chilaca asado por 10 minutos; lo anterior se puede explicar debido a que durante el tratamiento se extraen con mayor facilidad éstos componentes. En éste trabajo se muestra que el chile chilaca tratado presenta disminución de los fenoles; éstos chiles han sido sometidos a dos procesos uno de asado y otro de ebullición; entonces posiblemente los fenoles ya extraídos fueros degradados durante el segundo procedimiento; por lo tanto, la técnica empleada para la elaboración de la salsa de chilaca no es la adecuada para conservar los compuestos fenólicos y posiblemente un solo tratamiento (asado o ebullición) bastaría para obtener un mayor efecto benéfico. En el estudio llevado a cabo por Turkem y cols., en 2005 también se observó que la cantidad de fenoles en chile verde tratado por varios métodos fue mayor que en el chile fresco; de los métodos evaluados en ese estudio el tratamiento con microondas causó mayor incremento en el contenido de fenoles.

**Cuadro 10. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fenoles**

| Muestras                      | Fenoles (mg equivalentes de ácido gálico/100 g) <sup>a</sup> |             |                             |             |
|-------------------------------|--|-------------|-----------------------------|-------------|
|                               | Base seca  |             |                             |             |
|                               | Pasilla  | % de cambio | Chilaca                     | % de cambio |
| <i>Sin tratar</i>             | 518.1 ± 43.39 <sup>a</sup>                                   |             | 1068.5 ± 53.81 <sup>a</sup> |             |
| <i>Microondas</i>             | 614.44 ± 50.89 <sup>b</sup>                                  | 19          | 860.74 ± 30.35 <sup>b</sup> | - 19        |
| <i>Convencional</i>           | 1260.6 ± 39.98 <sup>c</sup>                                  | 143         | 975.93 ± 55.46 <sup>c</sup> | - 9         |
| <i>Microondas con crema</i>   | 726.52 ± 49.25 <sup>d</sup>                                  | 40          | 560.03 ± 2.33 <sup>d</sup>  | - 47        |
| <i>Convencional con crema</i> | 971.66 ± 51.38 <sup>e</sup>                                  | 87          | 238.38 ± 35.29 <sup>e</sup> | - 78        |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media ± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

En el caso del chile pasilla se observa un incremento en el contenido de fenoles. El incremento en el contenido de fenoles en vegetales debido al tratamiento térmico se ha atribuido principalmente a la deshidratación de la matriz del alimento y a que se favorece la extracción [Ornelas-Paz y cols., 2010]. También es posible que el tratamiento térmico pueda inactivar la enzima polifenoloxidasasa durante el calentamiento llevando a la inhibición de la degradación de fenoles [Chuah y cols., 2008]. En otro estudio [Mazzeo y cols., 2011] se indica que los tratamientos térmicos también pueden romper la estructura ligno-celulósica de los vegetales produciendo la despolimerización de los componentes de la lignina y como consecuencia se liberan más fenoles, también se indica que es posible la destrucción de los complejos polifenol-proteína por efecto de la temperatura. Además Vega-Gálvez y cols. [2009] indican que pueden formarse compuestos fenólicos por medio de reacciones de oscurecimiento no enzimático; este fenómeno podría explicar porque en los tratamientos convencionales se observa un mayor contenido de fenoles respecto al tratamiento con microondas ya que como se ha observado en el caso de el ácido ascórbico, clorofilas y carotenoides en general el tratamiento con microondas ha mostrado retener mayor cantidad de estos componentes; en el Cuadro 4 se puede observar que las temperaturas alcanzadas en el asado de los chiles pasilla son mayores que la de los chiles tratados con microondas ( $p < 0.05$ ), esta puede ser la razón de que se formen mayor cantidad de productos de Maillard; esta postura se puede reforzar al observar que la cantidad de fenoles que tienen las muestras de chile pasilla con crema son superiores respecto a las que no la tienen; las reacciones de Maillard ocurren entre azúcares y aminoácidos libres o proteínas; la crema estaría aportando una cantidad extra de proteínas y se ha encontrado que los niveles de azúcares (glucosa y fructosa) se incrementan con la madurez del chile [Nookaraju y cols., 2010] por lo que podrían ocurrir en el chile pasilla antes que en el chile chilaca que puede tener 3-4 veces menos azúcares [Serrano y cols., 2010].

El incremento en el contenido de fenoles es un fenómeno importante porque el cocinado de vegetales permite incrementar la biodisponibilidad [Mazzeo y cols., 2011] de éstos fitoquímicos ya que solo podemos acceder aproximadamente al

27% de los fenoles en un vegetal consumido crudo [Hervert-Hernández y cols., 2011].

El incremento en compuestos fenólicos por efecto del tratamiento térmico se ha observado previamente en chiles pungentes [Ornelas-Paz y cols., 2010] brócoli y espinaca [Turkmen y cols., 2005], nopalitos [Jaramillo-Flores y cols., 2003], coliflor y zanahoria [Mazzeo y cols., 2011]. Por otro lado se ha reportado también disminución en el contenido de fenoles de espinaca, puerro y otros vegetales [Chuah y cols., 2008], Turkmen y cols., [2005] informan que cuando la disminución no es significativa puede deberse a la inactivación de la enzima polifenol oxidasa y la buena estabilidad térmica de los fenoles presentes en el vegetal; de manera general el grado de degradación de los fenoles depende mucho del tiempo de procesado y el tamaño de los vegetales [Chuah y cols., 2008].

En el Cuadro 11 se muestra un resumen de los cambios ocurridos en los fitoquímicos del chile chilaca fresco y deshidratado (pasilla). De manera general en el chile chilaca se disminuyó el contenido de ácido ascórbico, clorofilas y fenoles y se incrementó el contenido de carotenoides. En el chile pasilla se disminuyó el contenido de ácido ascórbico y carotenoides mientras que el contenido de clorofilas y fenoles se incrementó. De los dos tratamientos empleados, el tratamiento con microondas aseguró una mayor retención de los fitoquímicos que el tratamiento convencional. Se cuantificaron más cantidad de fenoles en el tratamiento térmico posiblemente debido a la formación de compuestos fenólicos por medio de reacciones de oscurecimiento no enzimático.

**Cuadro 11. Resumen del cambio en fitoquímicos debidos al tratamiento térmico**

| Chile    | Muestra                       | % de cambio <sup>a</sup> |                    |                      |                   |
|----------|-------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
|          |                               | Ácido ascórbico          | Clorofilas totales | Carotenoides totales | Fenoles           |
| Chilaca  | <i>Sin tratar</i>             | 100 <sup>a</sup>         | 100 <sup>a</sup>   | 100 <sup>a</sup>     | 100 <sup>a</sup>  |
|          | <i>Microondas</i>             | -53 <sup>b</sup>         | -9 <sup>b</sup>    | 184 <sup>b</sup>     | - 19 <sup>b</sup> |
|          | <i>Convencional</i>           | -58 <sup>c</sup>         | -14 <sup>c</sup>   | 141 <sup>c</sup>     | - 9 <sup>a</sup>  |
|          | <i>Microondas con crema</i>   | -40 <sup>d</sup>         | -92 <sup>d</sup>   | - 3 <sup>d</sup>     | - 48 <sup>c</sup> |
|          | <i>Convencional con crema</i> | -45 <sup>e</sup>         | -90 <sup>d</sup>   | 6 <sup>d</sup>       | - 78 <sup>d</sup> |
| Paisilla | <i>Sin tratar</i>             | 100 <sup>a</sup>         | 100 <sup>a</sup>   | 100 <sup>a</sup>     | 100 <sup>a</sup>  |
|          | <i>Microondas</i>             | -50 <sup>b</sup>         | 232 <sup>b</sup>   | 58 <sup>b</sup>      | 19 <sup>b</sup>   |
|          | <i>Convencional</i>           | -53 <sup>b</sup>         | 207 <sup>c</sup>   | - 9 <sup>c</sup>     | 143 <sup>c</sup>  |
|          | <i>Microondas con crema</i>   | -32 <sup>c</sup>         | -4 <sup>a</sup>    | - 50 <sup>d</sup>    | 40 <sup>d</sup>   |
|          | <i>Convencional con crema</i> | -43 <sup>d</sup>         | 25 <sup>d</sup>    | - 36 <sup>e</sup>    | 87 <sup>e</sup>   |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes (p<0.05).

Como se observó en este estudio el procesado de los chiles representa un punto crítico en la determinación de las propiedades antioxidantes, por lo tanto; se deben optimizar las condiciones del procesado para preservar o incrementar su habilidad de promover la salud [Greco y cols., 2006].

## 7.2 Efecto del tratamiento térmico sobre el color

En el Cuadro 12 se muestran los valores de las coordenadas a\* b\*y L\* para el chile chilaca antes y después de los tratamientos. Ornelas-Paz y cols., [2011]

informan valores diferentes ( $a^*=-18.9$ ,  $b^*=38.6$ ,  $L^*=62.5$ ) a los obtenidos en este estudio para el chile chilaca; lo anterior sugiere que los chiles analizados por los autores citados tienen una madurez menor que los analizados en este estudio; en ese mismo estudio se analizaron los valores de color ( $a^*=-1.3$ ,  $b^*=36.9$ ,  $L^*=60.3$ ) para la chilaca asada por 10 minutos y atribuyen las diferencias a la presencia de tejido quemado en el chile.

**Cuadro 12. Efecto del tratamiento térmico sobre las coordenadas  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  de chile chilaca**

| Muestra                       | Coordenadas <sup>a</sup> |                    |                    |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
|                               | $a^*$                    | $b^*$              | $L^*$              |
| <i>Sin tratar</i>             | $-0.77 \pm 0.25^a$       | $7.87 \pm 0.47^a$  | $30.93 \pm 0.58^a$ |
| <i>Microondas</i>             | $-4.57 \pm 0.06^a$       | $14.63 \pm 0.80^b$ | $34.9 \pm 0.01^b$  |
| <i>Convencional</i>           | $-2.43 \pm 0.38^a$       | $17.17 \pm 0.35^b$ | $36.17 \pm 0.45^b$ |
| <i>Microondas con crema</i>   | $-6.8 \pm 0.17^b$        | $26.37 \pm 1.35^c$ | $55 \pm 0.89^c$    |
| <i>Convencional con crema</i> | $-7.47 \pm 0.38^b$       | $34.2 \pm 2.25^d$  | $56.83 \pm 1.54^c$ |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media  $\pm$  desviación estándar ( $n=3$ ). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes ( $p<0.05$ ).

Según se observa en el Cuadro anterior en el chile chilaca disminuyeron significativamente ( $p<0.05$ ) los valores de  $a^*$  solo en la fase de crema respecto al chile sin tratamiento y se incrementaron los valores de  $b^*$  en ambas fases. Respecto a los valores de  $a^*$  y  $b^*$  no se mostraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre los tratamientos en la fase de agua. En las salsas de chile chilaca se observa también un incremento significativo ( $p<0.05$ ) en los valores de  $L^*$ ; este incremento no tiene diferencias significativas entre los tratamientos. El incremento en los valores de  $L^*$  junto con la disminución de los valores de  $a^*$  observado en la fase de agua puede ser debido a la degradación de clorofilas [Ornelas-Paz y cols., 2010]. Se ha mostrado que los chiles desarrollan un color pálido después del tratamiento (menos verde); la primera causa de esa decoloración es la conversión de las clorofilas a feofitinas a través de la sustitución del Mg por un átomo de

hidrógeno [Turkmen y cols., 2006]; en esta conversión el color verde se torna verde olivo o olivo-amarillo que es percibido por el consumidor como pérdida de calidad [Koca y cols., 2005].

**Cuadro 13. Efecto del tratamiento térmico sobre los parámetros C\* y h°**

| Muestra                       | Pasilla <sup>a</sup>     |                           | Chilaca <sup>a</sup>      |                           |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                               | C*                       | h°                        | C*                        | h°                        |
| <i>Sin tratar</i>             | 2.7 ± 0.36 <sup>a</sup>  | 69.8 ± 1.5 <sup>a</sup>   | 7.9 ± 0.46 <sup>a</sup>   | 95.9 ± 2.03 <sup>a</sup>  |
| <i>Microondas</i>             | 4.47 ± 0.32 <sup>a</sup> | 51.67 ± 3.52 <sup>b</sup> | 15.33 ± 0.80 <sup>b</sup> | 107.3 ± 0.61 <sup>b</sup> |
| <i>Convencional</i>           | 7.07 ± 0.21 <sup>b</sup> | 49.4 ± 1.90 <sup>b</sup>  | 17.4 ± 0.8 <sup>b</sup>   | 98.93 ± 0.61 <sup>a</sup> |
| <i>Microondas con crema</i>   | 16.3 ± 0.8 <sup>c</sup>  | 52.37 ± 0.47 <sup>b</sup> | 27 ± 0.96 <sup>c</sup>    | 105 ± 0.4 <sup>b</sup>    |
| <i>Convencional con crema</i> | 16 ± 0.85 <sup>c</sup>   | 57.17 ± 0.65 <sup>c</sup> | 34.73 ± 1.79 <sup>d</sup> | 102.3 ± 0.06 <sup>a</sup> |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes (p<0.05).

En el cuadro 13 se muestran los valores de C\* y hue para ambos chiles, en el chile chilaca se observa un incremento significativo (p<0.05) en los valores de c\*, en la fase de agua no se encontraron diferencias significativas (p>.05) entre los dos tratamientos. El valor de hue en el chile chilaca solo se incrementó significativamente (p<0.05) en las muestras tratadas con microondas en las dos fases. Previamente se ha reportado [Turkmen y cols., 2006] que el tratamiento con microondas genera ángulos hue más grandes en comparación con otros métodos de tratamiento lo cual puede ser debido a la formación de otros derivados clorofílicos como las clorofilidas más que feofitinas; las clorofilidas no tienen cambios importantes en las propiedades cromóforas respecto a sus precursores. Un color más intenso también puede deberse a la disminución de la opacidad porque la luz penetra más profundamente en el tejido debido a que el aire intracelular es reemplazado con el agua y el jugo liberado por la deterioración de la membrana celular, aunque la razón del incremento del color verde durante el

cocinado aún no se conoce y necesita de mayor investigación [Turkmen y cols., 2006, Mazzeo y cols., 2011].

En el cuadro 14 se muestran los parámetros  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  para las muestras de chile pasilla; de éste chile no existen análisis de color sin embargo; Pino y cols. [2007] informan valores cercanos ( $a^*=4.7$ ,  $b^*=4.0$ ,  $L^*=28.1$ ) para un variedad de chile café.

**Cuadro 14. Efecto del tratamiento térmico sobre las coordenadas  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  en chile pasilla**

| Muestra                       | Coordenadas <sup>a</sup> |                    |                    |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
|                               | $a^*$                    | $b^*$              | $L^*$              |
| <i>Sin tratar</i>             | $0.93 \pm 0.05^a$        | $2.53 \pm 0.42^a$  | $36.67 \pm 1.06^a$ |
| <i>Microondas</i>             | $2.77 \pm 0.11^a$        | $3.8 \pm 0.17^a$   | $26.03 \pm 0.58^b$ |
| <i>Convencional</i>           | $4.63 \pm 0.25^a$        | $5.37 \pm 0.23^a$  | $27.33 \pm 0.51^b$ |
| <i>Microondas con crema</i>   | $9.97 \pm 0.47^b$        | $12.93 \pm 0.60^b$ | $32.27 \pm 0.95^a$ |
| <i>Convencional con crema</i> | $8.77 \pm 0.45^b$        | $13.37 \pm 0.82^b$ | $32.93 \pm 2.38^a$ |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media  $\pm$  desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Se observa en el cuadro anterior que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los parámetros  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  en las muestras sin crema tratadas convencionalmente y con microondas; en éstas muestras solo el valor de  $C^*$  es diferente; esto puede ser debido a la pérdida de carotenoides (Cuadro 11). Las muestras con crema mostraron incrementos significativos ( $p < 0.05$ ) en los valores de  $a^*$  y  $b^*$  y disminución significativa ( $p < 0.05$ ) de los valores de  $L^*$  respecto al chile pasilla; en estos datos no se encontraron diferencias significativas entre los dos tratamientos.

La disminución de los valores de  $L^*$  en las muestras sin crema tratadas se ha atribuido a la formación de pigmentos cafés producidos por las reacciones de oscurecimiento no enzimático [Arslan y Ozcan, 2010].

## 7.3 Efecto del tratamiento térmico sobre la actividad antioxidante

### 7.3.1 Actividad antioxidante de clorofilas

La actividad antioxidante en todas las muestras se determinó por medio de la actividad secuestradora de radicales libres del DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil). La metodología DPPH es considerada válida porque el radical es estable y no necesita ser generado como en otros ensayos [Sujah, 2004]. Cuando una solución de DPPH (color violeta) se mezcla con una sustancia capaz de donar un átomo de hidrógeno, esta se reduce (Fig.11) y se decolora (a amarillo) [Molyneux, 2004].

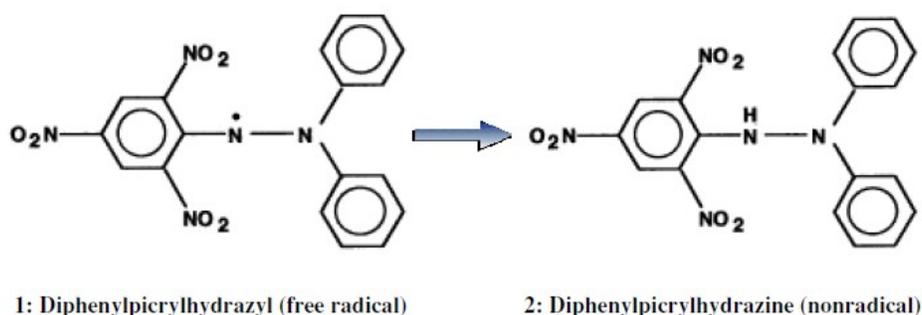


Fig. 11 Reacción en el ensayo del DPPH [Molyneux, P., 2004]

En el Cuadro 15 se muestra el efecto del tratamiento térmico sobre la actividad antioxidante de los extractos de clorofilas. Como se puede observar las clorofilas de chile chilaca mostraron mayor actividad antioxidante que las de chile pasilla ( $p < 0.05$ ) Lánfer-Marquez y cols. [2005] informan que la clorofila *b* posee mayor actividad antioxidante que la clorofila *a*; de los chiles analizados el chile chilaca contiene mayor contenido de clorofila *b* que el chile pasilla por lo cual su actividad antioxidante es mayor. Por otro lado se observa que el tratamiento térmico no afectó ( $p > 0.05$ ) la actividad antioxidante en todas las muestras de chile chilaca

tratadas; esto puede ser debido a la estabilidad térmica de la clorofila *b* [Koca y cols., 2005, Turkmen y cols., 2006]. En el caso del chile pasilla se observa que su actividad antioxidante es mayor ( $p < 0.05$ ) respecto a las muestras tratadas; esto puede ser debido a la presencia de carotenoides en el extracto.

**Cuadro 15. Actividad antioxidante de clorofilas**

| Muestras                      | % inhibición <sup>a</sup> |                           |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                               | Chilaca                   | Pasilla                   |
| <i>Sin tratar</i>             | 37.04 ± 1.23 <sup>a</sup> | 13.83 ± 0.77 <sup>a</sup> |
| <i>Microondas</i>             | 36.42 ± 2.47 <sup>a</sup> | 6.38 ± 1.78 <sup>b</sup>  |
| <i>Convencional</i>           | 35.39 ± 2.49 <sup>a</sup> | 3.49 ± 0.71 <sup>b</sup>  |
| <i>Microondas con crema</i>   | 35.39 ± 3.0 <sup>a</sup>  | 3.91 ± 0.94 <sup>b</sup>  |
| <i>Convencional con crema</i> | 36.63 ± 0.94 <sup>a</sup> | 4.73 ± 0.71 <sup>b</sup>  |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media ± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

En la literatura existen pocas investigaciones en torno a la actividad antioxidante de las clorofilas. Lanfer-Marquez y cols. [2005], informan que la clorofila *b* y sus derivados poseen mayor actividad antioxidante que la clorofila *a* y sus derivados; los autores citados indican que la mayor actividad antioxidante de los primeros se debe a la presencia del grupo aldehído en su estructura.

Los resultados obtenidos en este trabajo para la actividad antioxidante (DPPH) de las clorofilas de chile chilaca son más grandes respecto a los encontrados en otros estudios. Khattab y cols. [2010], informan porcentajes de inhibición de 1%-2% en clorofilas de canola, Ferruzi y cols., [2002] reportan porcentajes de inhibición menores a 12% en estándares comerciales de clorofilas, estas diferencias pueden ser debidas a la naturaleza del producto estudiado o la interferencia de otros componentes en los extractos [Khattab y cols. 2010] como el ácido ascórbico que se ha estimado que contribuye a la actividad antioxidante total entre el 72% al 88% en chiles frescos [Chuah y cols., 2008].

### 7.3.2 Actividad antioxidante de carotenoides

En el Cuadro 16 se muestra la actividad antioxidante de los carotenoides; según se observa las muestras de chile pasilla mostraron mayor actividad ( $p < 0.05$ ) que las de chile chilaca, esto puede ser debido a que tienen más carotenoides de la fracción roja que de la fracción amarilla; previamente se ha mostrado que la capsantina es un antioxidante más efectivo que el  $\beta$ -caroteno, luteína y zexantina [Matsufuji y cols., 2007, 1998].

**Cuadro 16. Actividad antioxidante de carotenoides**

| Muestras                      | % inhibición <sup>a</sup> |                          |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                               | Chilaca                   | Pasilla                  |
| <i>Sin tratar</i>             | 2.5 ± 1.72 <sup>a</sup>   | 7.19 ± 1.84 <sup>a</sup> |
| <i>Microondas</i>             | 3.12 ± 0.88 <sup>a</sup>  | 8.44 ± 0.92 <sup>a</sup> |
| <i>Convencional</i>           | 3.12 ± 0.88 <sup>a</sup>  | 9.74 ± 0.91 <sup>a</sup> |
| <i>Microondas con crema</i>   | 3.12 ± 0.88 <sup>a</sup>  | 8.44 ± 0.92 <sup>a</sup> |
| <i>Convencional con crema</i> | 2.75 ± 1.76 <sup>a</sup>  | 8.84 ± 0.91 <sup>a</sup> |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media ± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

En el cuadro anterior también se observan que los tratamientos térmicos no afectaron la actividad antioxidante en los dos chiles ( $p > 0.05$ ). Matsufuji y cols., [2007] informan un porcentaje de inhibición de 4% en los carotenoides de pimiento verde con la técnica de DPPH, sin embargo; los mismos extractos probados con la metodología de la oxidación del linoleato de metilo mostraron porcentajes de inhibición superiores a los determinados por medio de la metodología del DPPH. Liu y cols. [2008] determinaron 1%-8% y 6% de porcentajes de inhibición para el licopeno y  $\beta$ -caroteno, respectivamente utilizando la técnica de DPPH. Muler y cols., [2011] recomiendan evaluar la actividad antioxidante de los carotenoides con diferentes métodos basados en diferentes principios, por ejemplo las metodologías, TEAC, FRAP y LPSC brindan mejores resultados que la determinación de la actividad antioxidante por medio del DPPH.

El conocimiento de la actividad antioxidante de los componentes presentes en el chile no necesariamente indica la capacidad antioxidante total ya que puede existir un efecto sinérgico entre los diferentes antioxidantes y la actividad antioxidante total puede ser mayor que la suma de la actividad antioxidante individual de los componentes [Guil-Guerrero, Chuah y cols., 2008].

### 7.3.3 Actividad antioxidante de fenoles

En el Cuadro 17 se muestra la actividad antioxidante de los fenoles de las muestras analizadas expresada como porcentaje de inhibición. Se puede observar que la actividad antioxidante de las salsas de chile chilaca es mayor a las de chile pasilla ( $p < 0.05$ ); este mismo comportamiento se observó previamente en una en una variedad de *Capsicum annuum* [Conforti y cols. en 2007] en la que determinaron la actividad antioxidante en diferentes estados de madurez; los autores citados informan mayor actividad antioxidante en el primer estado de madurez que es cuando el chile comienza a tornarse verde y se disminuye conforme madura el fruto; este comportamiento se atribuyó a un mayor contenido de fenoles; resultados similares fueron presentados por Ornelas-Paz y cols. [2011]. La relación entre la actividad antioxidante del chile y su estado de madurez no está del todo clara, parece ser dependiente del genotipo [Deepa y cols., 2007].

**Cuadro 17. Actividad antioxidante de fenoles**

| Muestras                      | % inhibición              |                           |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                               | Chilaca                   | Pasilla                   |
| <i>Sin tratar</i>             | 93.96 ± 0.14 <sup>a</sup> | 82.74 ± 0.26 <sup>a</sup> |
| <i>Microondas</i>             | 94.85 ± 0.32 <sup>a</sup> | 74.62 ± 1.9 <sup>b</sup>  |
| <i>Convencional</i>           | 95.25 ± 0.07 <sup>a</sup> | 89.67 ± 0.44 <sup>c</sup> |
| <i>Microondas con crema</i>   | 96.98 ± 0.19 <sup>a</sup> | 77.68 ± 0.38 <sup>b</sup> |
| <i>Convencional con crema</i> | 96.38 ± 0.2 <sup>a</sup>  | 83.93 ± 1.09 <sup>a</sup> |

<sup>a</sup>Resultados expresados como media ± desviación estándar (n=3). Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una columna indican que son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

En el cuadro anterior se puede apreciar que los tratamientos térmicos no afectaron la actividad antioxidante de las muestras de chile chilaca ( $p>0.05$ ); resultados similares fueron encontrados por Turkmen y cols.[2005] para un chile verde sometido a ebullición, cocinado al vapor y con microondas. Estos valores son altos comparados con otros vegetales; por ejemplo, la calabaza, chícharos, brócoli y espinaca presentan porcentajes de inhibición de 15%, 21%, 78% y 67% respectivamente. En reportes anteriores se ha mostrado que algunas variedades de chile presentan valores de porcentajes de inhibición similares a los de los antioxidantes comerciales como BHA y BHT [Guil-Guerrero y Martínez Guirardo, 2006].

En estudios llevados a cabo en otros vegetales se ha indicado que no hay diferencias en la actividad antioxidante del brócoli tratado convencionalmente y con microondas [Zhang y Hamauzu, 2004] y en zanahorias sometidas a cocinado al vapor y a ebullición por 10 minutos. [Mazzeo y cols., 2011].

El comportamiento observado en el chile chilaca puede deberse a la inactivación de peroxidasas, también es posible que durante el procesado los componentes antioxidantes puedan ser compensados por la aparición de otros [Greco y cols. 2006], mejorar sus propiedades antioxidantes o interactuar con otros componentes [Nicoli y cols., 1999, Manzoco y cols., 2001], Por otro lado, también se ha mostrado que diferentes familias de fenoles como los ácidos cinámicos, catequinas y flavonoles permanecen estables a más de 100 °C [Liazid y cols., 2007]. De manera general, las consecuencias del procesado de alimentos sobre la capacidad antioxidante de los alimentos es generalmente el resultado de diferentes eventos, que pueden suceder consecutivamente o simultáneamente. [Nicoli y cols., 1999]

La actividad antioxidante en chiles ha sido atribuida principalmente a su contenido de fenoles [Greco y cols., 2007]; por esa razón es este estudio se determinaron

porcentajes de inhibición mayores en estos compuestos que en las clorofilas y carotenoides ( $p < 0.05$ ).

En el Cuadro 17 se observa que las muestras de chile pasilla tratadas con microondas tienen porcentajes de inhibición menores ( $p < 0.05$ ) respecto a las tratadas convencionalmente. Como se observó en el apartado 7.4.1 el incremento en el contenido de fenoles en el chile pasilla tratado convencionalmente pudo ser debido a la formación de compuestos fenólicos por medio de reacciones de oscurecimiento no enzimático; el incremento de estos compuestos coincide con porcentajes de inhibición mayores lo cual puede indicar que estos nuevos componentes están favoreciendo la actividad antioxidante; con anterioridad se ha mostrado que las propiedades antioxidantes de los productos alimenticios pueden mantenerse sin cambios o incluso incrementarse por el desarrollo de productos de las reacciones de Maillard [Nicoli y cols., 1997].

En otro estudio [Vega-Gálvez y cols. 2009], reportaron que la actividad antioxidante de chiles rojos deshidratados fue mayor cuando la temperatura de deshidratación fue alta ( $80^{\circ}\text{C}$  y  $90^{\circ}\text{C}$ ) que a bajas temperaturas; este fenómeno se atribuyó también a la formación de fenoles por medio de las reacciones de oscurecimiento no enzimático.

## **8. Conclusiones**

El tratamiento convencional y con microondas no afectó la actividad antioxidante del chile chilaca y pasilla. Tampoco se observó diferencia significativa en la actividad antioxidante dependiente de la fase.

## 9. Bibliografía

1. Álvarez-Parrilla, E., Rosa, L., Amarowicz, R. y Shahidi, F. (2011). Antioxidant activity of fresh and processed jalapeño and serrano peppers. *J. Agric. Food Chem.* 59, 163–173.
2. Arslan, D. y Ozcan, M. (2010). Dehydration of red bell pepper (*Capsicum annuum* L.): change in drying behavior, colour and antioxidant content.
3. Ben-Chaim, A., Borovsky, Y., Falise, M., Mazourek, M. and Kang, B. (2006) QTL analysis for capsaicinoid content in *Capsicum*. *Journal TAG*, 113, 1481-1490.
4. Bernhardt, S. y Schlich, E. (2006). Impact of different cooking methods on food quality: Retention of lipophilic vitamins in fresh and frozen vegetables . *J. of Food Engineering.* 77 (2). 327-333.
5. Bosland, W. y Votava. E. (2000). Peppers: vegetable and spice capsicums. CABI Publishing, Oxon, USA. Págs. 15-18.
6. **Brand-Williams, W., Cuvelier, M., C. Berset, C. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology.* 28: 1, 25-30.
7. Bravo-Lozano,a., Galindo-González, G y Amador-Ramírez, M (2006). Tecnología de la producción de chile seco. INIFAP, Méx.
8. Burns, J., Fraser, P. y Bramley, P. (2003). Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry.* 62, 939-947.

9. Chuah, A., Lee, Y., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L. and Matoba T. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chem.* 111, 20–28.
10. Collera-Zúñiga, O., García-Jiménez, F. y Meléndez R. (2005). Comparative study of carotenoid composition in three mexican varieties of *Capsicum annuum* L. *Food Chemistry*, 90, 109-114.
11. Conforti, F., Statti, G, Manichini, F. (2007). Chemical and biological variability of hot pepper fruits (*Capsicum annuum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage. *Food Chemistry*, 102, 1096-1104.
12. Cruz-García, C., González-Castro, M., Oruña-Concha, M., López-Hernández, J., Simal-Lozano, J. Simal-Gándara, J. (1997) The effects of various culinary treatments on the pigment content of green beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Food Research International*, 30,787–791.
13. Cruz-García, C, González-Castro, M., Oruña-Concha, M., López-Hernández, A., Hervert- Hernández, D., García, O., Rosando,J. y Goñi, I. The contribution of fruits and vegetables to dietary intake of polyphenols and antioxidant capacity in a Mexican rural diet: Importance of fruit and vegetable variety. *Food Research International*. 44 (5),1182-1189.
14. Davey,M., Van Montagu, M., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., Benzie, I., Strain, J. Favell, D. y Fletcher, J. (2008). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J Sci Food Agric* 80:825-860.
15. De Benítez, A., Velázquez, E., Carrillo, A., 1999. *El placer del chile*. 2<sup>a</sup>. ed. Ed. Clío, Michigan. Pág. 60.
16. Deepa, N., Kaur, C., George, B., Singh, B., & Kapoor, H. C. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT Food Science and Technology*, 40, 121–129.
17. Deepa, N., Kaur, C., Singh, B. y Kapoor, H. (2006). Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of Food & Nutrition Analysis*. 19, 572-578.

18. Ferruzzi, M. y Blakeslee, J. (2007). Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research* 27, 1-12.
19. Greco, L., Riccio, R., Bergero, S., Del Re, A. y Trevisan, M. (2006). Total reducing capacity of fresh sweet peppers and five different Italian pepper recipes. *Food Chemistry*. 103 (4), 1127-1133.
20. Guil-Guerrero, J. y Martínez Guirardo, C. (2006). Nutrient composition and antioxidant activity of 10 pepper (*Capsicum annum*) varieties. *Eur. Food Res. Technol.* 224, 1-9.
21. **Hervert-Hernández, D., García, O., Rosado, J. y Goñi, I.** (2011). The contribution of fruits and vegetables to dietary intake of polyphenols and antioxidant capacity in a Mexican rural diet: Importance of fruit and vegetable variety. *Food Research International*. 44:5 ,1182-1189.
22. Hornero-Méndez, D., Ricardo Gómez-Ladrón de Guevara y Mínguez Mosquera, I. (2000). Carotenoid biosynthesis changes in five red pepper (*Capsicum annum* L.) cultivars during ripening. *Cultivar Selection for Breeding, J. Agric. Food Chem.* 48, 3857-3864.
23. Howard, L., Talcott, T., Brenes, C. y Villalon, V. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* Species) as Influenced by maturity. *J. Agric. Food Chem.* 48, 1713-1720.
24. Jaramillo-Flores, M., González-Cruz, L., Cornejo-Mazón, L., Dorantes-Álvarez, L., Gutiérrez-López, G. y Hernández-Sánchez, H. (2003). Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*). *Food Sci Tech Int.* 9 (4), 271-278.
25. Khattab, R., Goldberg, E. Lin, L. y Thiyam, U. (2010). Quantitative analysis and free-radical-scavenging activity of chlorophyll, phytic acid, and condensed tannins in canola. *Food Chemistry*. 122, 1266-1272.
26. Kim, S., Ha, T. y Jaebok P. (2008). Characteristics of pigment composition and colour value by the difference of harvesting times in Korean red pepper varieties (*Capsicum annum*, L.). *Int. J. of Food S. and Tech.*, 43, 915-920.
27. Koca, N., Karadeniz, F. y Burdurlu, H. (2005). Effect of pH on chlorophyll degradation and color loss in blanched green peas. *Food Chemistry*, 100:2, 609-615.

28. Lanfer-Marquez, U., Barros, R. y Sinnecker, P. (2005). Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. *Food research international* 38, 885-891
  
29. Lee, Y., Howard, L. y Villalón, B. (1995). Flavonoids and Antioxidant Activity of Fresh Pepper (*Capsicum annuum*) Cultivars. *Journal of Food Science*, 60:3, 473-476.
  
30. Leonelli, C. y Mason, T. (2010). Microwave and ultrasound: Now a realistic option for industry. *Chemical Engineering and Processing*, 49, 885-900.
  
31. Liu, D., Shib, J. Colina, A., Kakudac, Y., Jun, S. (2008). The scavenging capacity and synergistic effects of lycopene, vitamin E, vitamin C, and  $\beta$ -carotene mixtures on the DPPH free radical, *LWT* 41, 1344–1349.
  
32. Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D. Nicoli, M y Lericci, C.(2001). Review of nonenzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science & Technology*. 11, 340–346.
  
33. Matsufuji, H., Ishikawa, K., Nunomura, O., Chino, M., y Takeda, M. (2007). Anti-oxidant content of different coloured sweet peppers, white, green, yellow, orange and red (*Capsicum annuum* L.) *International Journal of Food Science and Technology*. 42, 1482–1488.
  
34. Matsufuji, H., Nakamura, H., Chino, M. y Takeda, M. (1998). Antioxidant activity of capsanthin and the fatty acid esters in paprika (*Capsicum annuum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 3468–3472.
  
35. Mazzeo, T. N'Dri, D., Chiavaro, E., Visconti, A., Fogliano, V. y Pellegrini, N. (2011). Effect of two cooking procedures on phytochemical compounds, total antioxidant capacity and colour of selected frozen vegetables. *Food Chemistry*. 128, 627–633.
  
36. Molyneux, P.(2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *J. Sci. Technol.* 211-219.
  
37. Muñoz de Chávez, M. (2010). Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo. 2ª ed. Mc Graw Hill. México. Págs. 84-95.
  
38. Nicoli, N., Anese, M. y Parpinel, M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*. 10 94-100.

39. Nicoli, M, Anese, M., Parpinel, M., Franceschi S. y Lericia, C. (1997). Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. *Cancer Letters*. 114, 71-74.
40. Nookarajua, A., Upadhyayaa, P., Pandeya, S., Young, E., Hong, S. Park, S y Won Park,S. (2010). Molecular approaches for enhancing sweetness in fruits and vegetables *Scientia Horticulturae*. 127, 1–15.
41. Nuez-Viñals, F., Ortega, G y Costa, J. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. *Mundi Prensa-México*. Págs. 49-53. 98-110.
42. Oboh, G. y Rocha, J. (2007). Distribution and antioxidant activity of polyphenols in ripe and unripe tree pepper (*Capsicum pubescens*). *J. of Food Biochemistry* 31, 456-473.
43. Oboh, G. y Rocha, T. (2007). Polyphenols in red pepper [*Capsicum annum var. aviculare* (Tepin)] and their protective effect on some pro-oxidants induced lipid peroxidation in brain and liver. *Eur Food Res Technol* 225:239–247.
44. Ornelas-Paz, J., Martínez-Burrola, J., Ruiz-Cruz, S., Santana-Rodríguez, V., Ibarra-Junquera, V., Olivas, G., y Pérez-Martínez, D. (2010). Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics contents of Mexican peppers. *Food Chemistry* 119, 1619–1625.
45. Ornelas-Paz, J., Cira-Chávez, L., Gardea-Béjar, A., Guevara-Arauz, D., Sepúlveda, D., Reyes-Hernández, J. y Ruiz-Cruz, S. (2011). Effect of heat treatment on the content of some bioactive compounds and free radical-scavenging activity in pungent and non-pungent peppers. *Food Research International*.
46. Pino, J., González, M, Ceballos, L., Centurón-Yah, A., Trujillo-Aguirre, J. Latournerie-Moreno, L. y Sauri-Duch, E. (2007). Characterization of total capsaicinoids, colour and volatile compounds of Habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jack.) cultivars grown in Yucatan. *Food Chemistry* 104 (2007) 1682–1686
47. Ranganna, S. (1986). *Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*. 2a. ed. Ed. Mc Graw Hill. pp: 105-107.
48. Roca, M. y Mínguez-Mosquera, I. (2006). Chlorophyll catabolism pathway in fruits of *Capsicum annum* (L.): stay-green versus red fruits. *J. Agric. Food Chem*. 54, 4035-4040.

49. Rodriguez-Amaya, D. (1997). Carotenoids and food preparation: The retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored food. USAID. OMNI Project.
50. Rodriguez-Amaya, D. (2001) A guide to carotenoids analysis in foods. ILSI Press. Washington D.C. p. 1-10.
51. Schoefs, B. (2002). Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. Trends in Food Science & Technology. 13, 361–371.
52. Serrano, M., Zapata, P., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D. y Valero, D. (2010). Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. Food Chemistry 118. 497–503.
53. Suhaj, M. (2006). Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: a review. Journal of Food Composition and Analysis. 19, 531-537.
54. Sun, T., Xu, Z., Wu, T., Janes, M., Prinyawiwatkul, W. y NO, K. (2007). Antioxidant Activities of different colored sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). Sensory and Nutritive Qualities of Food. 72: 2, 98-102.
55. Thostenson, E. y Chou, T. (1999). Microwave processing: fundamentals and applications. Composites: Part A 30, 1055–1071.
56. Turkmen, N., Sari, F. y Velioglu, Y. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables, Food Chemistry. 93, 713–718.
57. Turkmen, N., Sinan, P., Sari, F. y Velioglu, S. (2006). Effects of cooking methods on chlorophylls, pheophytins and colour of selected green vegetables. *Int. J. of Food S. and Tech.*, 41, 281-288.
58. Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J. y Pérez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, color and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry* 117, 647-653.

59. Velioglu, Y., Mazza, G. Gao, L. y Oomah, B. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *J. Agric. Food Chem.*, 46 (10), 4113–4117.
60. Vernon, L. (1960). Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. *Analytical Chemistry*, 32(9), 1144 - 1150.
61. Wahyuni, Y., Ballester A., Sudarmonowati, E., Bino, R., Bovy, A. (2011). Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: Variation in health-related compounds and implications for breeding. *Phytochemistry*. 72, 1358–1370.
62. Wall, M. y Bosland, P. (1998). Analytical methods for color and pungency of chiles (capsicums). *Developments in Food Science*. 39, 347-373.
63. Zhang, D y Hamazu, Y. (2004). Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. *Food Chemistry* 88, 503-509.

#### **Referencias electrónicas**

1. Consejo Nacional de Productores de Chiles SC. [conaproch.org.mx/](http://conaproch.org.mx/)
2. El chile mexicano, SAGARPA, 2010
3. Estadísticas del chile, SAGARPA, 2007
4. Producción mundial de chile, FAO, 2008
5. Revista del consumidor. El Laboratorio Profeco reporta: hornos de microondas. Abril de 2011. [revistadelconsumidor.gob.mx/](http://revistadelconsumidor.gob.mx/)