



CAPSAICINOIDES Y COLOR EN CHILTEPÍN (*Capsicum annuum* var. *aviculare*). EFECTO DEL PROCESO SOBRE SALSAS Y ENCURTIDOS

CAPSAICINOIDS AND COLOR IN CHILTEPIN (*Capsicum annuum* var. *aviculare*). PROCESSING EFFECT ON SAUCES AND PICKLES

L.C. Montoya-Ballesteros*, A. Gardea-Béjar, G.M. Ayala-Chávez,
Y.Y. Martínez-Núñez y L.E. Robles-Ozuna

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.,
Carretera a la Victoria Km. 0.6 Hermosillo, Sonora A.P. 82000, México.

Recibido 27 de Marzo 2010; Aceptado 29 de Junio 2010

Resumen

El color, picor y contenido de capsaicina (C) y dehidrocapsaicina (DHC) de frutos de chiltepín silvestre (*Capsicum annuum* var. *aviculare*) se evaluaron en dos estados de madurez; se elaboraron además salsas para determinar el efecto del proceso artesanal (PA) y del establecido para alimentos acidificados (PAA) sobre las mismas variables. Los frutos rojos contienen mayor cantidad de C ($8.22 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) y DHC ($4.24 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) que los verdes (C, $4.24 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ y DHC, $0.529 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ respectivamente). El color de los productos elaborados a partir de chiltepín verde, se afectó en mayor grado que los elaborados a partir de chiltepín rojo. El comportamiento del color de las salsas del PA a pH 2.7, fue semejante al de las salsas del PAA. La degradación de C y DHC fue similar en PA y PAA, a pH de 4.0. En cualquier tipo de proceso, los contenidos de C y DHC y el picor, fueron afectados por el proceso de molienda y el pH.

Palabras clave: capsaicina, chiltepín, dehidrocapsaicina, procesos, salsas.

Abstract

Color, pungency and capsaicin (C) and dihydrocapsaicin (DHC) content were determined in wild chiltepín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*) fruits at the green and red stages of maturity. Red fruits contains more C (8.22 mg/g) and DHC (4.24 mg/g) than green ones (C, 4.24 mg/g; DHC, 0.53 mg/g, respectively). Sauces were also elaborated using a traditional process (PA) and those recommended for acidified foods (PAA). The effect of processing was also evaluated in sauces. Color of green chiltepín products was more affected than those made from red chiltepín. Color was similar in PA sauces at pH 2.7 and PAA sauces. Pungency and C and DHC contents were affected by processes, but at pH 4.0 they were similar. Color, pungency and C and DHC contents in chiltepín products were affected by grinding and pH; regardless of the process used.

Keywords: capsaicin, chiltepín, dihydrocapsaicin, process, sauces.

1 Introducción

El chiltepín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*) es una planta perenne que crece de manera silvestre, asociada comúnmente al matorral arborescente, espinoso de la selva baja caducifolia en México. El fruto en su estado inmaduro se utiliza para la elaboración artesanal de salsas y encurtidos, mientras que en estado maduro se deshidrata al sol para emplearse como condimento y también en

la elaboración de una amplia variedad de salsas. Por su popularidad como picante, es considerado como una especia sofisticada con características de sabor picante, color y aroma muy distintivos. El grado de picor y el color representan los atributos de calidad más importantes (Martínez y col., 2006). El picor de la mayoría de los chiles se debe a alcaloides como la capsaicina (C), dihidrocapsaicina (DHC), nordihidrocapsaicina

*Autora para la correspondencia. E-mail: lmontoya@ciad.mx
Tel. 662892400, ext. 231, Fax 662800422

(NHC), homocapsaicina y homodihidrocapsaicina; los cuales difieren entre sí por la longitud de sus cadenas alifáticas (Lambert y Sum, 2006). C y DHC aportan entre el 80 y 90 % del total del picor (Martínez y col., 2006; Perkins y col., 2002; Reilly y col., 2001). Además de participar en el picor del fruto, los capsaicinoides tienen diversas propiedades biológicas con efectos beneficiosos para la salud humana (Surch y Lee, 1996, Choi S y col., 2006), entre las que destacan la estimulación del sistema cardiovascular (Govindarajan y Sathyanarayana, 1991) y su capacidad antiinflamatoria (Anogianaki y col., 2006). En la mayoría de los chiles el contenido de C y DHC presenta una alta variación dependiendo del genotipo, estado de madurez, lugar de recolección y período y temperatura de almacenamiento, entre otros (Morán-Bañuelos y col., 2008).

En la actualidad, la información existente sobre los índices de calidad en base al picor, los contenidos de C y DHC, así como el color del chiltepín y sus productos es casi nula. En Chile piquín, otro Chile silvestre cultivado en invernadero, tiene un contenido de C y DHC que llega a alcanzar valores de 54 $\mu\text{g/g}$ a los 40 días después de floración (Contreras-Padilla y Yahia, 1998). Este comportamiento es similar a lo observado en la mayoría de los chiles en donde se registra la mayor acumulación de capsaicinoides al final de la maduración (Estrada y col., 2000). En los estudios de salsas picantes, Ahmed y col. (2002) reportan que el picor en puré de Chile verde decrece en términos del contenido de C, así mismo, el color también es afectado durante el tratamiento térmico, cuando se utiliza una temperatura de 85 °C por 15 min. Por otro lado, Schweiggert y col. (2006) observaron que en pasta de Chile rojos, ocurre una disminución del picor y el color, cuando los Chile se escaldan a 80, 90 y 100 °C por 5 y 10 min. En el caso de salsas de chiltepín los estudios son prácticamente nulos por lo que el objetivo en este trabajo fue evaluar los cambios en C, DHC, picor y color en los frutos de chiltepín en dos estados de madurez y sus productos como salsas bajo diferentes procesos de elaboración y encurtidos.

2 Materiales y métodos

Se emplearon frutos de *Capsicum annuum* var. *aviculare* en los dos estados de madurez a los

que se comercializa: verde y completamente rojo. Los frutos se colectaron de plantas silvestres en la región de Mazocahui, Sonora (29°06'30"LN, 110°10'30"LO y 475 msnm). El chiltepín verde se recolectó la segunda semana de septiembre, mientras que los frutos rojos se recolectaron en la primera semana de octubre y fueron deshidratados al sol hasta una humedad del 4%. Los frutos fueron almacenados a temperaturas de 5 °C y 25 °C respectivamente, en bolsas de polietileno, para los análisis posteriores y para la elaboración de encurtidos y salsas.

2.1 Preparación de las salsas

A partir de las muestras recolectadas se realizaron diferentes formulaciones de acuerdo a dos tipos de proceso, 1) el proceso artesanal (PA) y 2) el establecido para alimentos acidificados (PAA). Se incluyó además la elaboración de un producto encurtido a fin de evaluar el efecto de la molienda en la degradación de capsaicinoides y en el color.

1) PA: En este tipo de procesos comúnmente se utiliza el chiltepín rojo con la mezcla de especias y condimentos en una molienda en húmedo, considerando el tamaño de partícula a corte fino, no existe ningún tratamiento térmico por lo que se realiza a temperatura ambiente; se incluye la operación de acidificación, en la cual se utilizan los ácidos acético ó cítrico. Analizando varios tipos de salsas de chiltepín elaboradas artesanalmente, se encontraron comúnmente tres condiciones de pH: 5.1, 4.0 y 2.7. Por lo anterior, se decidió ajustar el pH en la elaboración de este tipo de salsas de acuerdo a ello; en el Cuadro 1 estas salsas se identifican como RpH5.1, RpH4.0 y RpH2.7.

Esta operación de acidificación se realizó en la molienda, la cual se efectuó a temperatura de 25 °C, considerando el tamaño de partícula a corte fino. 2) PAA. Las etapas u operaciones unitarias se siguieron con base a lo estipulado para alimentos acidificados (Fellows, 2000). En este proceso además de la molienda, la cual se realiza a altas temperaturas, se incluyeron dos etapas en las cuales se utilizan tratamientos térmicos, como son el escaldado y la pasteurización; el estudio consistió en realizar variaciones en temperatura y tiempo en estas dos etapas, dentro de los rangos establecidos para éstas. La molienda se realizó después del escaldado, considerando la misma temperatura de esta última operación. La primera variación (90/10): consistió en escaldado

con temperatura de 90 °C por un tiempo de 10 min y pasterizado a temperatura de 100 °C con tiempo de 30 min. La segunda (85/15) consistió en escaldado a 85 °C por tiempo de 15 min; con pasterizado de 90 °C por 5 min. Además a diferencia del PA se procesó chiltepín verde (V) y rojo (R), de tal forma que las variaciones quedan V90/10, R90/10, V85/15 y R85/15 (Cuadro 1). Las salsas fueron procesadas mezclando especias y condimentos, acidificándolas con ácido cítrico.

2.2 Encurtidos

Se incluyó además la elaboración de un producto encurtido a fin de contrastar el efecto de la molienda en la degradación de los capsaicinoides y del color. Este proceso se realizó de acuerdo a lo establecido para alimentos acidificados; a diferencia de las salsas, no emplea la etapa de molienda. Las condiciones para los tratamientos térmicos, se especifican el Cuadro 1. En la preparación de encurtidos comúnmente se emplea chiltepín verde, zanahoria (*Daucus carota* L.), cebolla (*Allium cepa* L) y especias, por lo que se procedió a realizarlo de acuerdo a ello.

2.3 Análisis de calidad

Las variables evaluadas en los frutos en dos estados de madurez y sus productos fueron: pH y acidez titulable (AT), las cuales se midieron con un titulador automático Mettler (DL 21

Titrató) basados en la técnica propuesta por la A.O.A.C. (1990). El color se midió por reflectancia utilizando 30 g de muestra; usando un colorímetro Minolta modelo CR-300 (Metrolab International). Se utilizó el sistema CIELab para medir L^* , a^* y b^* y el instrumento se calibró con un mosaico blanco como estándar con valores de D65: $Y = 92.9$, $x = 0.3161$, $y = 0.3321$ En base a estos parámetros se midió el cambio total de color de los productos con respecto a la materia prima, calculándolo de la siguiente manera:

$$\text{Ángulo de matiz}(\theta^*) = \arctan(b^*/a^*) \quad (1)$$

$$\text{Croma}(C^*) = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

donde: $\Delta L^* = L_2^* - L_1^*$; $\Delta a^* = a_2^* - a_1^* > 1$; $\Delta b^* = b_2^* - b_1^*$ L_1^* , a_1^* y b_1^* = valores obtenidos de la materia prima. L_2^* , a_2^* y b_2^* = valores obtenidos del producto final.

El color también se analizó en base al valor a^* , el cual en esta escala cambia desde $-a^*$ para el color verde hasta $+a^*$ para el rojo.

2.4 Determinación de C, DHC y grado de picor

Para la determinación de C, DHC y el grado de picor del chiltepín y sus productos se determinó de acuerdo a la técnica descrita por el método 21.3

Cuadro 1. Condiciones de proceso empleados en la elaboración de los distintos productos.

PROCESO	Descripción	ETAPAS		
		Molienda	Escaldado	Pasteurizado
Artesanal (PA)				
RpH 5.1	Salsa roja	+	-	-
RpH 4.0	Salsa roja	+	-	-
RpH 2.7	Salsa roja	+	-	-
Alimentos Acidificados (PAA)				
V _{90/10}	Salsa verde	+	T =90 °C, t=10min	T =100 °C, t=30min
V _{85/15}	Salsa verde	+	T =85 °C, t=15min	T =90 °C, t=5min
R _{90/10}	Salsa roja	+	T =90 °C, t=10min	T =100 °C, t=30min
R _{85/15}	Salsa roja	+	T =85 °C, t=15min	T =90 °C, t=5min
Encurtido (Enc)	Frutos en vinagre	-	T=90 °C, t= 2min	T=85 °C, t=15min

RpH = Salsa roja acidificada de acuerdo al PA (pH= 5.1, 4.0 ó 2.7).

V = Salsa verde procesada de acuerdo al PAA, siguiendo los cambios en las variables según 90/10 ó 85/15.

R = Salsa roja procesada de acuerdo al PAA, siguiendo los cambios en las variables según 90/10 ó 85/15.

- = No aplicada

+ = Aplicada

T = Temperatura; t = Tiempo

(1997) de American Spice Trade Association (ASTA). Para C y DHC se pesaron 25 g de muestra y se le adicionaron 200 mL de etanol absoluto dentro de un matraz balón, se le agregaron varias perlas de vidrio y permaneció en un reflujo leve durante 5 horas, se dejó enfriar y posteriormente se filtraron de 3 a 4 mL con una jeringa utilizando filtros de 0.22 μm . La cuantificación se realizó por HPLC, la separación de logró mediante una columna de 3.9 X 150 mm Nova-Pak® C18 60Å 4 μm , Waters Corporation. El detector utilizado fue UV-VIS usando una longitud de onda de 280 nm inyectando 20 μL de muestra. El grado de picor del chiltepín y sus productos se determinó en base a la suma de las concentraciones de los dos mayores componentes en este caso C y DHC obtenidos, se reporta en unidades Scotville (SHU, Scotville Heat Units).

2.5 Diseño experimental y análisis estadístico

En el caso de las salsas rojas elaboradas por medio del PA a partir de frutos fisiológicamente maduros, se compararon las tres condiciones acidificación (RpH5.1, RpH4.0 y RpH2.7).

Para las salsas elaboradas por medio del PAA, se compararon de acuerdo a las modificaciones especificadas en el Cuadro 1: entre verdes V90/10 y V85/15; entre rojas R90/10 y R85/15. Así mismo, con el fin de evaluar el efecto de la molienda, se compararon con un quinto tratamiento consistente en encurtido.

Los datos de las variables correspondientes a color, picor y contenidos de C y DHC fueron analizados por ANDEVA de una sola vía y en los casos pertinentes, las medias fueron comparadas de acuerdo a la prueba de Tuckey ($\alpha = 5\%$), con la versión 4.04 del JMP 1989-2001 (SAS Institute Inc.).

3 Resultados y discusión

3.1 Estado de maduración del fruto

En el Cuadro 2 se presentan los atributos de calidad físico-químicos del chiltepín en dos estados de madurez comercial, aunque la madurez fisiológica corresponde al estado rojo. Los valores de pH del chiltepín verde (5.5) fueron muy semejantes a los encontrados en chiltepín rojo (5.1). Estos resultados son menores

a los encontrados en chiles verdes (*Capsicum annuum*) de otras variedades como ‘Anaheim’, cuyos valores son de 6.3 (Salunkhe y Kadam, 1998; Peralta y col., 2007) y 6.4 del cultivar ‘Padron’ (Estrada y col., 2000). Por su parte la acidez titulable incrementa en función de la madurez. Lo anterior puede ser atribuido probablemente a la acumulación de compuestos fenólicos, principalmente de los ácidos camarico y clorogénico. Aunado a ello, la deshidratación natural de los frutos rojos o maduros promueve la acumulación de los ácidos cumárico y clorogénico, durante los cambios atribuidos al proceso de maduración en la variedad ‘Padrón’ (Estrada y col., 2000). El color en frutos verdes y rojos (Cuadro 2) presentó variaciones muy marcadas en los variables evaluadas, principalmente en a^* y un cambio ligero en L^* ; mientras que b^* permanece constante. El cambio drástico se observa en a^* , en donde cambia de -17 , valor que caracteriza al color verde, hasta 30 , en donde se denota el color rojo. L^* , disminuyó en chiltepín rojo lo cual indica una menor luminosidad en el color de frutos fisiológicamente maduros. Es importante resaltar que en la escala del amarillo-azul, lo cual es representado por b^* , los valores encontrados para el chiltepín verde, se ubican en el amarillo; no mostró cambio con respecto al chiltepín rojo. El θ^* varió de 113.7° para chiltepín verde a 52° para el rojo, ubicándose en el diagrama de cromaticidad en los verdes y rojos respectivamente.

Cuadro 2. Caracterización del chiltepín en dos estado de madurez, en base a sus diferentes atributos

Variable ^(†)	Chiltepín verde	Chiltepín rojo
pH	5.5	5.1
Acidez titulable (%)	0.3	1.6
Color		
Valor L^*	31.3 ± 7.1	27.0 ± 8.2
Valor a^*	-17.0 ± 1.4	30 ± 5.2
Valor b^*	38.7 ± 3.3	38.7 ± 6.8
Angulo de matiz (θ)	113.7 ± 1.4	52.2 ± 1.3
Croma (C)	42.2 ± 2.1	48.9 ± 1.2
Capsaicinoides		
C ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	4.24	8.22
DHC ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	0.52	1.28
Picor (SHU) ⁺⁺	70,000	160,000

^(†) Los valores son promedio de tres repeticiones.

⁺⁺ Scoville Heat Units. Siglas en inglés

El ΔE^* se encontró en el orden de 27, el cual se considera amplio, ya que es muy distante de cero. Un ΔE^* de cero es indicativo a que no existe cambio de color, según lo establecido por la Ec. (3). Lo anterior era de esperarse, ya que el color del chiltepín verde está determinado por el contenido de clorofila, no obstante como en otros chiles, a medida que el fruto madura se sintetizan otros pigmentos como carotenoides, mientras que se degrada la clorofila (Ben-Yehoshua, 1985; Rajput y Parulekar, 1998).

Respecto al contenido de capsaicinoides en los frutos, el menor contenido se encontró en chiltepín verde, con valores de $4.2 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ para C y de $0.5 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de DHC. Los valores más altos de C y DHC del chiltepín rojo fueron de 8.2 y $1.3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente. Cuando los frutos alcanzan la madurez fisiológica mostraron un marcado incremento duplicándose el valor de estos capsaicinoides; lo cual fue similar al comportamiento reportado para otros chiles (Contreras-Padilla y Yahia, 1998; Estrada y col., 2000). Como en otros chiles, en cualquier estado de madurez el contenido de C, fue mayor que DHC (Contreras-Padilla y Yahia, 1998; Higashiguchi y col., 2006, Morán-Bañuelos y col., 2008). Así mismo, los valores de C y DHC encontrados fueron mayores a los reportados para los chiles “Miahuateco” y “Criollos” cultivados en Puebla, México (Morán-Bañuelos y col., 2008); mayores a ‘Piquín’ y ‘De Árbol’ cultivados en invernadero y

muy semejante al ‘Habanero’ (Contreras-Padilla y Yahia, 1998). El picor, se incrementa de $70,000$ SHU en frutos verdes hasta $160,000$ SHU en frutos rojos. Estos valores fueron mayores a los reportados por Everhart y col. (2002), para esta misma especie. Además los valores encontrados, tanto en frutos verdes como rojos, fueron superiores al híbrido de chile ‘Manzano’ rojo (Cruz-Pérez y col., 2007). Específicamente para chiltepín verde, los valores se encontraron por debajo de los reportados para el chile ‘Jamaicano’, los que se encuentran en el rango de $100,000$ a $200,000$ SHU (Davis, 1998), mientras que para el chiltepín rojo fueron similares. Es importante resaltar que este valor de SHU encontrado para el chiltepín rojo, puede ser semejantes al del chile ‘Habanero’, cuyos valores se encuentran en el rango de $100,000$ a $445,000$ SHU (Davis, 1998).

3.2 Efecto de la operación de acidificación sobre el color de productos artesanales

El color en las salsas elaboradas utilizando el proceso artesanal, se afectó significativamente ($p \leq 0.05$) con la operación de acidificación. El color rojo en base al parámetro a^* , disminuyó con respecto a la materia prima ($p \leq 0.05$), principalmente cuando se acidifica hasta un pH de 2.7 (Fig. 1A). Así se denota también con el aumento del θ^* y la disminución de C^* .

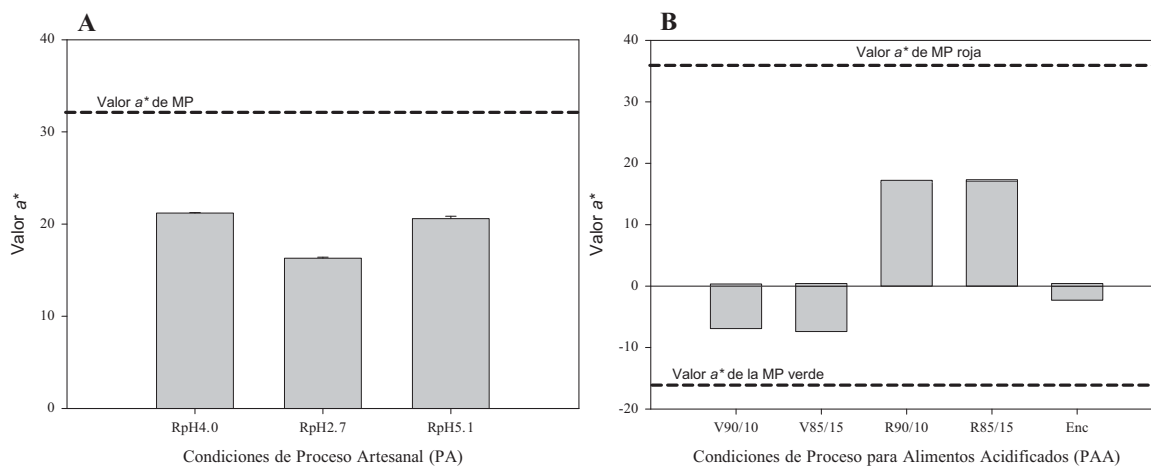


Fig. 1: Efecto de las condiciones de proceso sobre el valor a^* en los diferentes productos elaborados A) Productos elaborados mediante el proceso artesanal (PA) con chiltepín rojo: RpH5.1, RpH4.0 y RpH2.7. B) Productos elaborados con el proceso para alimentos acidificados (PAA) a partir del chiltepin verde y rojo: V_{90/10}, V_{85/15}, R_{90/10}, R_{85/15}. Todo en relación al valor a^* de la materia prima (MP) correspondiente.

Mientras que para la materia prima θ^* es de 52.2 y C de 48.9 (Cuadro 2), para la salsa RpH2.7, θ^* es de 65.5 y C^* de 36.4 (Cuadro 3), localizándose estos últimos en la esfera de color en la zona de rojo claro.

Cuando la acidificación es menor, es decir a pH de 5.1 y 4.0, el cambio en el parámetro a^* fue menor ($p \leq 0.05$). En el Cuadro 3, se observa que el θ^* entre estos tratamientos es igual estadísticamente; lo mismo sucede al evaluar C^* . En la esfera de color estos parámetros son localizados en la zona del rojo. Sin embargo estos tratamientos menos ácidos son diferentes a la salsa acidificada hasta pH 2.5. El color rojo del chiltepín, probablemente se deba a carotenoides como capsantina, capsorubina y capsantina 5,6-epóxido; estos compuestos son muy susceptibles a los cambios en pH (Ramaswamy, 2005). El ΔE^* expresado en la Ec. (3), referente al cambio de color que experimenta el producto final respecto a la materia prima; en las salsas artesanales mostró cambios ($p \leq 0.05$) con respecto a la materia prima, ya que los valores encontrados fueron mayores a cero. En el Cuadro 3 se observa que el mayor cambio de color coincide con el aumento de θ^* y la mayor disminución de C^* y a^* (Fig. 1A) lo que se presentó en salsas con un pH de 2.7.

3.3 Efecto del PAA sobre el color de salsas

Los tratamientos térmicos del proceso para alimentos acidificados, afectaron significativamente ($p \leq 0.05$) el color de los productos elaborados a partir de chiltepín verde. El color verde en base a los valores negativos de a^* , reportó pérdidas hasta el 55% respecto a la materia prima (Fig. 1B). En V90/10 y V85/15, el θ^* y C^* disminuyen respecto a la materia prima (Cuadro 1 y 3); sin embargo, entre tratamientos no existe diferencia significativa ($p > 0.05$), localizándose en esfera de color en el verde claro. Esta variación en el color verde ha sido reportada ampliamente en hortalizas verdes y fruta kiwi procesados térmicamente (Ahmed y col., 2002; Steet y Tong, 2006; Maskan, 2001). Específicamente para jugo de brócoli Van-Loey y col. (1998) reportan degradación de clorofila debido a tratamientos térmicos empleando un mínimo de 80 °C. En el caso de pasta de chile verde, la degradación del color por efecto de la temperatura, sigue una cinética de primer

orden y el color se pierde cuando se utiliza una temperatura de 85 °C por 15 min (Ahmed y col., 2002). Respecto a la pérdida de clorofila debido a cambios pH, en ensalada de col la decoloración se acentúa cuando el pH disminuye de 6.1 a 4.7 (Heaton y col., 1996).

El color de salsas de chiltepín rojo, las cuales se elaboraron de acuerdo al proceso para alimentos acidificados; fue afectado por la temperatura y el pH ($p \leq 0.05$) (Cuadro 3). El color rojo, analizado también en base a la variable a^* , sólo que en valores positivos (Fig. 1B); presentó pérdidas en cualquier proceso que incluye tratamiento térmico (R90/10 y R85/15); las pérdidas de a^* , a diferencia de las salsas verdes, representaron el 43%. Este valor es menor al reportado por Kim S. y col. (2006) para chile Koreano deshidratado al sol y después molido, en donde las pérdidas de color ascienden hasta el 50%. El θ^* se incrementa ($p \leq 0.05$) con respecto a la materia prima en cualquier tratamiento, por su parte el C^* disminuye (Cuadro 3). Estos valores de θ^* y C^* se localizan en la esfera de color, en la zona de los rojo de menor intensidad en relación a la materia prima. Sin embargo al analizar el θ^* y el C^* , entre los dos tratamientos se encontró que son diferentes estadísticamente; el proceso en el cual recibe menor tratamiento térmico en menor tiempo (R 85/15), es con el cual estas variables son menos afectadas, es decir en la esfera de color son mas rojas que el R 90/10. Las pérdidas en color son semejantes a lo reportado por Kim S. y col. (2006) para chile en polvo, deshidratado al sol. Los carotenoides, responsables del color rojo de los chiles, son muy susceptibles a los cambios de temperatura y pH; en particular durante el procesamiento térmico se convierten a epóxidos, disminuyendo el color rojo (Ramaswamy, 2005). Las pérdidas de color también pueden ocurrir debido al efecto de la molienda, en donde existe un rompimiento celular e incremento de la temperatura por fricción, ocasionando la oxidación de carotenos (Fellows, 2000, Kim S. y col., 2006).

El cambio de color (ΔE^*) en base a la Ec. (3), en los productos de chiltepín verde, mostraron diferencias respecto a la materia prima, ya que se presentaron valores mayores a cero. En los productos de chiltepín rojo el ΔE^* , mostró de igual forma, diferencias respecto a la materia prima ($p \leq 0.05$). En este caso, el máximo ΔE^* , se presentó en donde el producto se expuso a un

Cuadro 3. Caracterización en salsas verdes, salsas rojas y encurtidos de chiltepín.

Muestras	pH	AT (%)	L*	b*	ΔE	C*	Θ^*
Proceso Artesanal (PA)							
RpH 5.1	5.1	0.1 ± 0.03	39.3a	37.8b	11.6b	42.7a	62.1a
RpH 4.0	4.0	0.5 ± 0.05	40.6a	42.4b	13.1b	47.3a	63.5a
RpH 2.7	2.7	2.1 ± 0.04	37.2a	32.8b	18.0b	36.4a	65.4a
Proceso para Alimentos Acidificados (PAA)							
V _{90/10}	3.8 ± 0.01	1.6 ± 0.03	43.6a	24.3a	22.6a	25.2c	106a
V _{85/15}	3.8 ± 0.01	1.5 ± 0.02	45.3a	24.9a	20.1a	25.8c	105a
R _{90/10}	4.1 ± 0.01	1.6 ± 0.01	35.0b	33.2b	17.0b	37.7b	61.5b
R _{85/15}	4.1 ± 0.02	1.5 ± 0.05	36.7b	36.8b	15.8b	40.9a	63.9b
Encurtido							
Encurtido (Enc)	4.2 ± 0.01	0.3 ± 0.04	37.3b	21.4a	25.7a	21.6	98.0

RpH = Salsa roja acidificada de acuerdo al PA (pH= 5.1, 4.0 ó 2.7).

V = Salsa verde procesada de acuerdo al PAA, siguiendo los cambios en las variables según 90/10 ó 85/15.

R = Salsa roja procesada de acuerdo al PAA, siguiendo los cambios en las variables según 90/10 ó 85/15.

tratamiento térmico más severo (R90/10) (Cuadro 3).

3.4 Capsaicinoides en productos de chiltepín: Efecto del PA sobre el contenido de capsaisinoides en salsas.

En la Fig. 2A, se muestran las concentraciones de C y DHC en el chiltepín rojo, así mismo para cada uno de los tratamientos del PA. Los contenidos de C y DHC disminuyeron ($p \leq 0.05$) en las salsas, con respecto a la materia prima. Este comportamiento se observó de manera muy marcada en las salsas a un pH de 2.7, en donde

las pérdidas de C fueron mayores al 90% y muy cercanas al 100% con respecto a DHC. Por su parte en las salsas de pH = 4.0 y 5.1, las pérdidas fueron ligeramente menores, pues alcanzaron valores del 80% aprox. Probablemente el mayor efecto sobre la reducción de C y DHC en las salsas artesanales, sea debido a la molienda y a cambios drásticos de pH. El probable mecanismo de descomposición de C en la molienda, es debido al efecto de la temperatura que se genera por fricción; se inicia con la fragmentación de los grupos alquilo de C con una subsecuente oxidación para formar vainillina, posteriormente se origina el rompimiento de vainillina en otros fenoles resultando finalmente alquilamida (Henderson y Henderson 1992; Fellows, 2000).

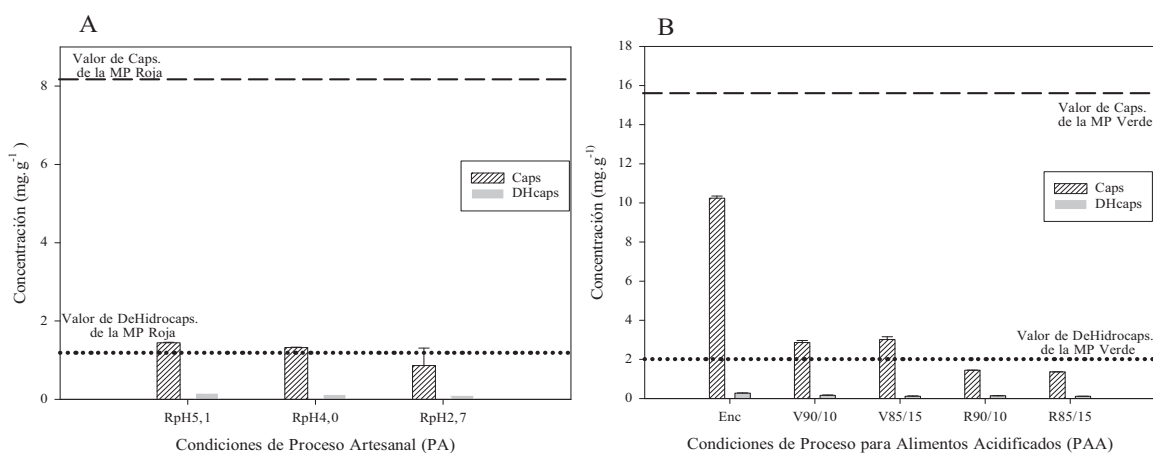


Fig. 2: Efecto del proceso sobre la concentración de capsaicina y dehidrocapsaicina en productos de chiltepín A) Productos elaborados con el PA y B) Productos elaborados con el PAA.

3.5 Efecto del PAA sobre el contenido de capsaicinoides en salsas

La Fig. 2B, muestra el contenido de C y DHC en los productos elaborados a partir de chiltepín verde y rojo. Se encontró una reducción en C y DHC ($p \leq 0.05$), por el efecto del PAA. En los procesos de salsas V90/10 y V85/15, las pérdidas de C fueron semejantes a la reducción encontrada en los productos de chiltepín rojo, pues C se redujo ($p \leq 0.05$) en 81 % , mientras que las rojas el 83%. En todos los procesos de PAA analizados, el contenido de DHC disminuyó ($p \leq 0.05$) de manera similar respecto C (Fig. 2B). Sin embargo, al igual que en la materia prima DHC, permaneció en niveles menores al de C. Se observó que las pérdidas de DHC con los tratamientos térmicos son mayores (90 %) a las encontradas para C (80%) en cualquier producto; lo cual pudiera atribuirse a que la DHC presenta menor resistencia térmica.

Al comparar con otras salsas como la tabasco elaborada a partir de chile habanero, el contenido de C (3.29 mg/g) es ligeramente menor en las salsas de chiltepín verde (SV90/10=2.7mg/g) y existe una marcada diferencia respecto a DHC (1.25 mg/g) ya que la salsa de chiltepín verde muestra valores cercanos a cero. Por su parte las salsas rojas de chiltepín muestran valores cercanos a la salsa tabasco elaborada a partir de chile habanero con respecto al contenido de C. En otra presentación comercial de salsa tabasco, las salsas rojas de chiltepín son ligeramente superiores, ya que la presentación comercial ofrece un contenido de C de 1.10 mg/g. Por otro lado, las salsas rojas de chiltepín de este estudio son superiores en el contenido de C respecto a otra presentación comercial de salsa Tabasco con sabor chipotle ya que el contenido de C es de 0.28 mg/g y son similares respecto al contenido de DHC (0.33mg/g) (Kosukue y col., 2005).

El picor de los productos considerado como la suma del contenido de C y DHC, en base a unidades Scoville, presentó un comportamiento dependiente, en mayor grado del contenido de C; así se encontró que una disminución de C por el efecto de los tratamientos, implicó una disminución en el picor. Al comparar las salsas y encurtidos, los productos de chiltepín de cualquier proceso, se encuentran en los niveles cercanos a los establecidos para el chile de árbol (Davis, 1998).

3.6 Efecto de la molienda sobre color y capsaicinoides en los procesos estudiados

El color verde del chiltepín encurtido, perdió hasta 85% del valor $-a^*$, representando la mayor pérdida de los productos elaborados a partir del chiltepín verde (50%) (Cuadro 3). La luminosidad (L^*) se mantuvo cercana a la de la materia prima. El mayor cambio de color verde, es debido a la conversión de la clorofila a feofitinas, provocado por el aumento en la temperatura y la baja de pH (Rocha y col., 1993; Ihl y col., 1998).

Con respecto a las pérdidas de C de cualquier salsa (80%) fueron mayores a las encontradas para los encurtidos (35%) (figs. 2A y 2B). Por su parte DHC, se redujo solo al 34% en encurtidos, mientras que en cualquier tipo de salsa ya sea la elaborada mediante el PA ó PAA en cualquiera de sus tratamientos, las pérdidas representaron alrededor del 90%.

En la mayoría de los alimentos, la pérdida de compuestos durante la molienda, se acelera debido al rompimiento celular, causando una deterioración acelerada del sabor, aroma, color y valor nutricional. En la molienda, la temperatura se incrementa por fricción y en el corte de las partículas. Estudios de Henderson y Henderson (1992), muestran que el probable mecanismo de descomposición de C por efecto de la temperatura, se debe a la fragmentación de los grupos alquilo de C con una subsecuente oxidación para formar vainillina, posteriormente se origina el rompimiento de vainillina en otros fenoles resultando finalmente alquilamida (Fellows, 2000). El efecto es posible observarlo en una pasta de chile pasteurizada (80, 90 y 100 °C por 5 y 10 min) y después liofilizada, las pérdidas de capsaicinoides son menores (28.3%) (Schweiggert y col., 2006) a las reportadas para salsas en este estudio. En las pastas solo se está considerando el efecto de pasteurización y el liofilizado, sin considerar el efecto de la molienda pues el contenido inicial de capsaicinoides para determinar las pérdidas, es en base a la pasta y no al producto antes de la molienda. Por el contrario en chiles enteros pasteurizados a 80, 90 y 100 °C por 5 y 10 min, y después liofilizados las pérdidas son similares (21.7 %) a las de los encurtidos de este estudio (35 %) en donde el chiltepín permanece entero. Probablemente el efecto de la molienda sobre las pérdidas en el

contenido C en salsas, es mayor en comparación con otras etapas del proceso de elaboración.

Conclusiones

En el chiltepín analizado el contenido de C fue mayor al de DHC en cualquier estado de madurez. El picor fue dependiente del contenido de C y se incrementó en el fruto maduro. En los procesos estudiados, el color de los productos elaborados a partir de chiltepín verde, se afectaron en mayor grado, que los productos elaborados con frutos rojos. En salsas rojas, el comportamiento del color en las elaboradas mediante el PA, con pH de 5.1, es igual al de las elaboradas mediante el PAA. Las pérdidas de C y DHC en salsas rojas fueron iguales en el PAA y el PA con cambios de pH de 5.1 y 4.0. Una disminución de pH hasta 2.7 en salsas elaboradas de acuerdo al PA, incrementó las pérdidas de C hasta el 90%; similar a las pérdidas encontradas para DHC en cualquier producto. En el proceso de encurtidos en donde no se utiliza molienda; las pérdidas de C fueron significativamente menores (35 %) al de las salsas (85%), de los PAA y PA (pH 4.0 y 5.1). Por lo anterior, podría atribuirse en mayor grado las pérdidas de C y DHC en los productos estudiados, a la molienda y a un pH tan ácido como 2.7.

Referencias

- Ahmed, J., Shivare, U. S. y Debnath, S. (2002). Colour degradation and rheology of green chili puree during thermal processing. *International Journal of Food Science & Technology* 37, 57-63.
- Anogianaki, A., Negrev, N.N., Shaik, Y.B., Castellani, M.L., Frydas, S., Vecchiet, J., Tete, S., Salini, V., De Amicis, D., De Luttis, M.A., Conti, F., Caraffa, A., Cerrulli, G. (2006). Capsaicin an irritant anti-inflammatory compound. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents* 2(6), 1-4.
- A.O.A.C. (1990). Official Methods of Analysis. *Association of Official Analytical Chemists* 15th. Arlington, Virginia.
- A.S.T.A. (1997). Method 21.3 Pungency of capsicum and their oleoresins. *Official Analytical Methods of the American Spice Trade Association*. Fourth Edition. New Jersey.
- Ben-Yehoshua, S. (1985). Individual seal packaging of fruit and vegetables in plastic film- a new postharvest technique. *HortScience* 22, 777-783.
- Contreras-Padilla, M. y Yahia, E. M. (1998). Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of chile peppers and relation with peroxidase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46, 2075-2079.
- Cruz-Pérez, A., González-Hernández, V.A., Soto Hernández, R. M., Gutiérrez-Espinoza, L., Gardea-Béjar, A. y Pérez-Grajales, M. (2007). Capsaicinoides, Vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia* 41, 627-635.
- Choi Suk-Hyun, L., Bong-Soon, S., Kozukue, E., Kozukue, N., Levin, C., Friedman, M. (2006). Analysis of the contents of pungent compounds in fresh korean red peppers and in pepper-containing foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 9024-9031
- Davis (1998). Safe Methods to Store, Preserve and Enjoy. Publicación 8004 de la Universidad de California. Disponible en: <http://anrcatalog.ucdavis.edu>. Accesado 30 Octubre 2009.
- Estrada, B., Bernal, M. A., Díaz, J., Pomar, F., Merino, F. (2000). Fruit development in *Capsicum annum*: changes in capsaicin, lignin, free phenolics, and peroxidase patterns. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 6234-6239.
- Everhart, E., Haynes, C., Juron, R. (2002). Chiles. En: El huerto doméstico guía de horticultura de Iowa State University. ISU. University Extension. Iowa USA. Disponible en: <http://www.extension.iastate.edu/publications>. Accesado Diciembre de 2009.
- Fellows, P. J. (2000). *Food Processing Technology "Principles and Practice"*. Editorial CRC Press Boca Raton, Boston, Nueva York, Washington D.C., E.U.A. Pp.575.

- Govindarajan, V. S. y Sathyanarayana, M. N. (1991). Capsicum-production, technology, chemistry and quality. Part. V Impact on physiology, pharmacology, nutrition and metabolism: structure, pungency, pain and desensitization sequences. CRC Crit. Rev. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 29, 435-474.
- Heaton, J. W., Yada, R. Y., Marangoni, A. G. (1996). Discoloration of coleslaw is caused by chlorophyll degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44, 395-398.
- Henderson, D. E., Henderson, S. K. (1992). Thermal decomposition of capsaicin. 1. Interaction whit oleic acid at high temperatures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40, 2263-2268.
- Higashiguchi, F., Nakamura, H., Hayashi, H., Kometani, T. (2006). Purification and structure determination of glucosides of capsaicin and dihydrocapsaicin from various *Capsicum* fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 5948-5953.
- Ihl, M., Monslaves, M., Bifani, V. (1998). Chlorophyllase Inactivation as a measure of blanching efficacy and colour retention of artichokes (*Cynara Scolymus L.*). *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 31, 50-56.
- Kim, S., Park, J. B., Hwang, I. K. (2006). Quality attributes of various varieties of Korean red pepper powders (*Capsicum annuum L.*) and color stability during sunlight exposure. *Journal of food Science* 67(8), 2957-2961.
- Kozukue, N.J., Han, E., Kozukue, S. J., Lee, J., Kim, A.N., Lee, K., Levin, C. y Friedman, M. (2005). Analysis of eight capsaicinoids in pepper and pepper-containing foods by high-performance liquid chromatography and liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 9172-9181.
- Lambert, J. W., Sum, A. K. (2006). Molecular dynamics study of the properties of capsaicin in an 1-Octanol/Water System. *The Journal of Physical Chemistry* 110, 2351-2357.
- Martínez, L., Cilia, I., Beltrán, J. A., Roncalés, P. (2006). Effect of *Capsicum annuum* (Red Sweet and Cayenne) and *Piper nigrum* (black and white) pepper powders on the shelf life of fresh pork sausages packaged in modified atmosphere. *Journal of Food Science* 71, 48-53.
- Maskan, Medeni (2001). Kinetics of color change of kiwi fruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering* 48(2), 169-175.
- Morán-Bañuelos, H., Aguilar-Rincón, V.H., Corona-Torres, T., Castillo-González, F., Soto-Hernández, R.M., San Miguel-Chávez, R. (2008). Capsaicinoides en Chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia* 42, 807-816.
- Peralta, E., Mejía-Zuazo, S., Montoya-Ballesteros, L. C., Soto-Valdez, H. (2007). Vida de anaquel de chiles verdes (*Capsicum annuum*) 'Anaheim' *tatemados* durante el almacenamiento a temperaturas de refrigeración. *Industria Alimentaria* 29, 36-42.
- Perkins, B., Bushway, R., Guthrie, K. (2002). Determination of capsaicinoids in salsa by liquid chromatography and enzyme Immunoassay. *Journal Association Official Analysis Chemistry* 85, 82-85.
- Ramaswamy, H. S. (2005). Thermal processing of fruits. En: *Processing Fruits Science and Technology*, (Barrett, D.M., Somogyi L. y Ramaswamy), Pp. 173-200. Editorial CRC Press Boca Raton, Nueva York, Washington, D.C.
- Rajput, J.C. y Parulekar, Y.R. (1998). Capsicum. En: *Handbook of Vegetable Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing* (Salunkhe, D.K. y Kadam, S.S.), Cap. 8, Pp. 203-224. Editorial Marcel Dekker, Inc, Nueva York, Brasil, Hong Kong.
- Reilly, C. A., Crouch, D. J.G, Yost, S. (2001). Quantitative analysis of capsaicinoids in fresh peppers, oleoresin capsaicin and

- pepper spray products. *Journal of Forensic Science* 46, 502-509.
- Rocha, T., Lebert, A., Marty-Audouin, C. (1993). Effect of pre-treatments and drying condition on drying rate and color retention of basil. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 26,1-17.
- Salunkhe, D. K., Kadam, S. S. (1998). *Handbook of Vegetables Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing*. Pp. 721. Editorial Marcel Dekker, Inc.
- Schweiggert, U., Schieber, A., Reinhold, C. (2006). Effects of blanching and storage on capsaicinoid stability and peroxidase activity of chili peppers (*Capsicum frutescens L*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 7, 217-224.
- Steet, J.A., Tong, C.H. (2006). Degradation kinetics of green color and chlorophylls in peas by colorimetry and HPLC. *Journal of Food Science* 61(5), 924-928
- Surch, Y. y Lee, S.S. (1996). Capsaicin in hot chili pepper:carcinogen, co-carcinogen or anti-carcinogen? *Food and Chemical Toxicology* 34, 313-316.
- Van-Loey, A., Ooms, V., Weemaes, C., Borck, I. V. D., Ludikhuyze, L., Indrawati, D., Hendrix, M. (1998). Thermal and pressure-temperature degradation of chlorophyll in broccoli (*Brassica oleracea L. Italica*) Juice: A kinetic study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46, 5289-5294.