

Extracción de capsaicinoides durante la deshidratación osmótica de chile Habanero en salmuera

Capsaicinoids extraction during osmotic dehydration of Habanero chili pepper in brine

J.A. Hernández^{a*}, A.A. Ochoa^b, E. López^b and H.S. García^c

^aDivisión de Tecnología de Alimentos, Universidad Tecnológica de Tabasco, Kilómetro 14.6 Carretera Villahermosa-Teapa, Villahermosa, Tabasco, México; ^bDivisión Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Kilómetro 25 Carretera Villahermosa-Teapa, Villahermosa, Tabasco, México; ^cUNIDA, Instituto Tecnológico de Veracruz, Av. Miguel Ángel de Quevedo No. 2779. C.P. 91897, Veracruz, Veracruz, México

(Received 25 September 2008; final version received 20 January 2009)

The effect of pH values, salt concentration and the chili:brine ratio on capsaicinoids extraction, sodium gain and moisture loss of Habanero chili pepper immersed in brine were studied. Sodium gain was measured by flame spectrophotometry and capsaicinoids content by HPLC. All the variables employed exerted significant effects on capsaicin extraction. At pH 3, 40°C, chili:brine ratios of 1:4 and 1:2 and salt concentration of 2.5% (w/v), greatest rates of capsaicin extraction were noted. When variable interactions were evaluated, greater capsaicin losses at equilibrium were reached at pH 3, 40°C, salt concentration of 2.5% and a chili:brine ratio of 1:2. Brine immersion of Habanero chili slices produced up to 25% of capsaicin extraction.

Keywords: Habanero chili pepper; capsaicinoids; capsaicin; HPLC; brine

Se evaluó el efecto del pH, temperatura, concentración de sal y relación chile:salmuera sobre la extracción de capsaicinoides, ganancia de sodio y pérdida de humedad en rodajas de chile Habanero durante su inmersión en salmuera. La ganancia de sodio se determinó por espectrofotometría de flama y el contenido de capsaicinoides por HPLC. Todos los factores ejercieron un efecto significativo sobre la extracción de capsaicina. El pH 3, 40°C, la relación chile salmuera 1:4 y 1:2, así como la concentración de sal 2,5% (p/v) provocaron las mayores tasas de extracción de capsaicina. Al evaluar la interacción entre los factores, se encontró que el tratamiento que causó la mayor pérdida de capsaicina al equilibrio fue el que se realizó a pH 3, 40°C, concentración de sal de 2,5% y la relación chile:salmuera 1:2. La inmersión de rodajas de chile Habanero en salmuera provocó la extracción de hasta el 25% de la capsaicina.

Palabras clave: chile Habanero; capsaicinoides; capsaicina; HPLC; salmuera

Introducción

El chile (*Capsicum* spp.) se ha convertido en uno de los principales condimentos a nivel mundial. Alrededor del 90% de las variedades de chile son de origen Mexicano (Andrews, 1995), y México se encuentra entre los primeros países productores de esta hortaliza (www.faostat.fao.org). La sensación pungente que aporta esta hortaliza se debe a la presencia de 16 alcaloides homólogos, a los que en forma genérica se les identifica como capsaicinoides (Vázquez-Flota et al., 2007). De estos, la capsaicina (N-(4-hidroxi-3-metoxibencil)-8-etil non-6-enamida) es la más abundante, que alcanza hasta el 85% de los capsaicinoides totales en el fruto, dependiendo de la variedad (Blum et al., 2003). Los capsaicinoides se encuentran en una mayor concentración en la placenta del fruto, estructura a la que se adhieren las semillas (Narasimha et al., 2006); no tienen olor ni sabor y estimulan los puntos receptores del dolor en la lengua y boca. En respuesta a

este estímulo el cerebro libera endorfinas, se incrementa el metabolismo, se libera más saliva y aumenta la sudoración (García, Ortega, & García, 1995).

En Tabasco, la producción del chile Habanero (*Capsicum chinense*) ha cobrado interés por su alta demanda, tanto nacional como internacional (Prado-Urbina, 2001). Mata, Burgueo-Tapia, y Paniagua-Murillo (1987) indican que el chile Habanero es la variedad que posee las concentraciones más altas de capsaicinoides, reportando un rango de 1.68 a 1.95% en base seca; como consecuencia, esta especie es la que ofrece mayor pungencia.

Se han publicado un número de artículos científicos sobre métodos analíticos para la separación y cuantificación de capsaicinoides (Gibbs & O'Garro, 2004; Batchelor & Jones, 2000; Perucka & Oleszek, 2000; Krajewska & Powers, 1987). De las técnicas propuestas, la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) ha demostrado ser una de las más eficientes

*Corresponding author. Email: jos672004@yahoo.com.mx

(Schweiggert, Carle, & Schieber, 2006; Betts, 1999; Maillard, Giampaoli, & Richard, 1997). Además, las fases móviles de metanol-agua recomendadas en los métodos de HPLC representan una alternativa viable para su uso, por su bajo costo y baja peligrosidad en su manejo (Kurian & Starks, 2002; Reilly, Crouch, & Post, 2001).

El contenido de capsaicinoides en chile Habanero depende de muchos factores, los cuales están generalmente relacionados con los procesos de biosíntesis genéticamente regulados y con ciertas variables de cultivo tales como el estado nutricional de la planta, las condiciones ambientales y el estado de desarrollo del fruto (Vázquez-Flota et al., 2007). Uno de los principales usos de este fruto es como materia prima en la elaboración de salsas y otros derivados comestibles. Éstos generalmente son caracterizados por la elevada pungencia impartida por este chile. No obstante, existe interés comercial de desarrollar tratamientos o procesos que permitan el control del nivel de pungencia de los productos elaborados a base de este chile.

La deshidratación osmótica consiste en la inmersión de frutas o vegetales en disoluciones acuosas de alta concentración de azúcares o sales, en donde se verifican tres fenómenos de transferencia de masa: el flujo de agua desde el alimento a la disolución, la transferencia de soluto desde la disolución al alimento y la transferencia de solutos del alimento hacia la disolución (azúcares, ácidos orgánicos, minerales, vitaminas, entre otros) (Ochoa-Martínez & Ayala-Aponte, 2005; Rastogi & Raghavarao, 2002). Este último grupo de compuestos que se movilizan, aunque es poco importante cuantitativamente, puede modificar algunas características organolépticas del alimento, como el color, el olor o el sabor (Sablani & Rahman, 2003). Luna, García, y Beristain (1996), observaron que la inmersión de rodajas de chile jalapeño en salmuera provocaba la liberación de hasta el 70% de los capsaicinoides. Además, Luna, et al. (1996) notaron que en este proceso de liberación influían la temperatura, el pH y la relación chile:salmuera. Es importante señalar que este proceso ha sido aplicado únicamente en chile jalapeño y no se conocen informes científicos en otras especies de chiles. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del pH, temperatura, y concentración de sal sobre la pérdida de capsaicina y la ganancia de sodio en chile Habanero. Los resultados podrán ser utilizados para el desarrollo de procesos en los que se requiera el control del nivel de pungencia en productos derivados del chile Habanero.

Materiales y métodos

Se seleccionaron chiles frescos, en estado verde sazón, con una longitud promedio de 3 cm. Los frutos se lavaron con agua corriente y se eliminaron sus extremos superior e inferior. Se separaron la placenta y las semillas con la ayuda de un horador manual y

se rebanaron, obteniendo rodajas de aproximadamente 3 mm de espesor. Las rodajas de chile Habanero fueron distribuidas en lotes de 10 g para su inmersión en salmuera, de acuerdo con el diseño de tratamientos. La salmuera se preparó utilizando cloruro de sodio y el pH se ajustó con una disolución de ácido acético 1 N. A cada uno de los lotes de chile Habanero se adicionó salmuera para obtener la relación adecuada de rodajas de chile:salmuera. Los tratamientos térmicos se realizaron con ayuda de un baño de agua con controlador digital de temperatura, durante 18 minutos. El diseño de los tratamientos fue un factorial 3X3X3X2 con tres repeticiones. Los factores considerados fueron: concentración de cloruro de sodio en la salmuera (7,5, 5 y 2,5% p/v), pH (5, 4 y 3), relación chile:salmuera (1:2, 1:3 y 1:4) y temperatura (40 y 60 °C). Transcurrido el tiempo de inmersión, las rodajas de chile fueron escurridas y colocadas sobre papel absorbente para eliminar el exceso de salmuera. Se determinó su contenido de humedad por el método 934.01 del AOAC (2000). El análisis de sodio se realizó por el método 966.16 del AOAC (2000), empleando un espectrofotómetro de llama marca Corning 410. El contenido de capsacina en la salmuera de cada uno de los tratamientos evaluados se determinó por HPLC. La salmuera se filtró a través de membranas de nylon de 0,45 μm y se colocó en viales con tapa de rosca con teflón. La separación y cuantificación de la capsacina se realizó en un HPLC marca Waters, equipado con una bomba cuaternaria, un controlador Waters 600, desgasificador en línea y detector de arreglo de diodos Waters 996. La columna de fase reversa usada fue una Waters Spherisorb® S5 ODS1 4,6X250 mm (Waters, Milford, MA, USA). La longitud de onda utilizada fue de 280 nm. La fase móvil consistió de metanol-agua (con 1% de ácido acético) en un sistema de gradiente programado a 22 minutos, iniciando con 30% de metanol hasta alcanzar 100%. La velocidad de flujo fue de 1,4 mL/min, con un volumen de inyección de 20 μL .

Los resultados fueron analizados por medio de un análisis de varianza con posterior análisis de comparación de medias por una prueba de Tukey a una probabilidad de 0,05, con el paquete estadístico STATISTICA V. 5.0.

El modelo matemático propuesto por Azuara, García, & Beristain (1992a) y Azuara, Cortés, García, & Beristain (1992b), fue aplicado para describir las cinéticas de pérdida de agua y ganancia de sodio a lo largo del tiempo de tratamiento osmótico. El modelo empleado se basa en la ecuación:

$$WFL = \frac{S_1 t (WFL_{\infty})}{1 + S_1 t} \quad (1)$$

en donde:

WFL = fracción de agua perdida por el alimento al tiempo t

WFL_{∞} = fracción de agua perdida por el alimento al equilibrio

S_1 = constante relacionada a la pérdida de agua

t = tiempo

La Ecuación (1) relaciona la pérdida de agua (WFL) a un tiempo t , a través de dos constantes. S_1 y WFL_{∞} . Estos valores pueden estimarse por regresión lineal de datos obtenidos experimentalmente usando la forma linealizada de la ecuación (1):

$$\frac{t}{WFL} = \frac{1}{S_1(WFL_{\infty})} + \frac{t}{WFL_{\infty}}. \quad (2)$$

Similares ecuaciones a (1) y (2) pueden ser obtenidas para la ganancia de sodio del producto:

$$SG = \frac{S_2 t (SG_{\infty})}{1 + S_2 t}. \quad (3)$$

$$\frac{t}{SG} = \frac{1}{S_2(SG_{\infty})} + \frac{t}{SG_{\infty}} \quad (4)$$

donde:

SG = fracción de sodio ganado por el alimento a un tiempo t

SG_{∞} = fracción de sodio ganado por el alimento al equilibrio

S_2 = constante relacionada a la ganancia de sodio

Resultados y discusión

Pérdida de humedad y ganancia de sodio

La inmersión de rodajas de chile Habanero en disoluciones acuosas de sal ocasiona que éstas experimenten un proceso de deshidratación osmótica, caracterizado principalmente por la pérdida de agua y la ganancia de sólidos (cloruro de sodio). Durante el proceso se observa al inicio un claro incremento de dichas variables con respecto al tiempo, notando el mayor cambio durante los primeros minutos de tratamiento (Figuras 1–4). Este comportamiento también fue observado por Chavarro-Castrillón, Ochoa-Martínez, y Ayala-Aponte (2006). Dock, Ozaslan, y Floros (1997), encontraron que durante el proceso de deshidratación osmótica de chile verde la pérdida de agua y la ganancia de sólidos (sal y sorbitol) se incrementó significativamente durante los primeros 30 minutos del proceso.

En todo proceso de deshidratación osmótica intervienen factores intrínsecos y extrínsecos al alimento, los cuales determinan el comportamiento de las distintas variables de respuesta que caracterizan a este fenómeno (Ochoa-Martínez & Ayala-Aponte, 2005; Rastogi & Raghavarao, 2002). En este sentido, se encontró que al incrementar la concentración de sal en la salmuera empleada para la inmersión, la pérdida de agua y la ganancia de sodio en las rodajas se incrementaron significativamente, observando el

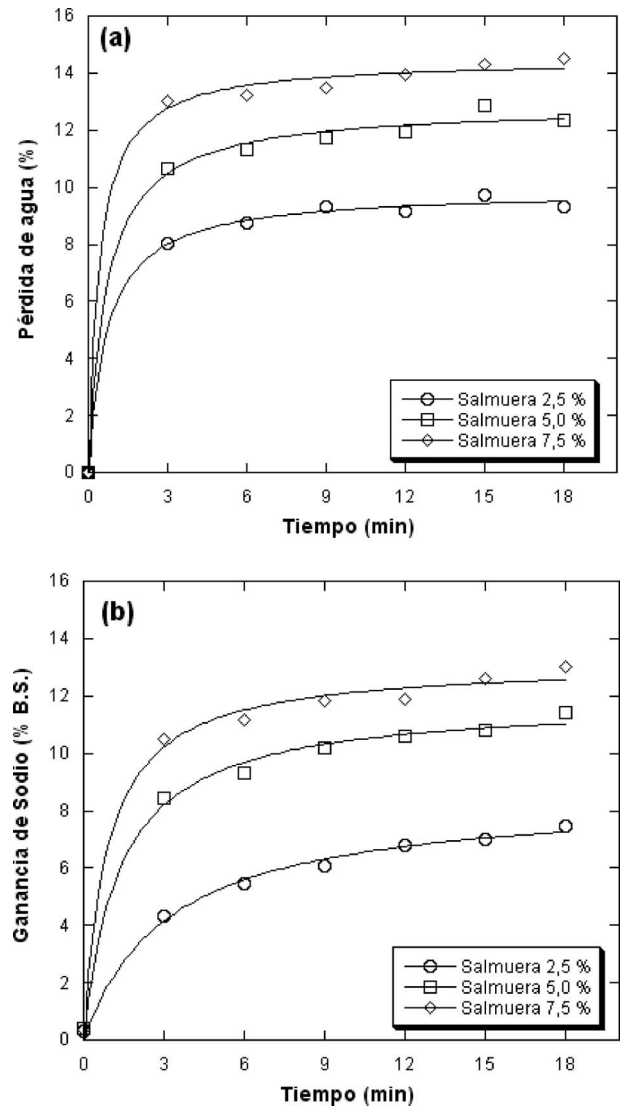


Figura 1. (a) Pérdida de humedad; (b) y ganancia de sodio de rodajas de chile Habanero durante su inmersión en salmuera a diferentes concentraciones. Las líneas en las Figuras 1 a 4 corresponden al ajuste de los datos realizado con el modelo de Azuara et al. (1992a, 1992b).

Figure 1. (a) Moisture loss; (b) and sodium gain of Habanero chili pepper slices during immersion in brine of different salt concentrations. Lines of Figures 1 to 4 represent the best fit attained using the model of Azuara et al. (1992a, 1992b).

mayor efecto a la concentración de 7,5% de sal (Figura 1). De igual manera, Chenlo, Chaguri, Santos, y Moreira (2006) determinaron que un incremento en la concentración de cloruro de sodio provoca una mayor remoción de agua e impregnación de soluto en chiles padrón enteros (*Capsicum annuum* L. var. *Longum*) sometidos a deshidratación osmótica con disoluciones de cloruro de sodio. Giraldo, Talens, Fito, y Chiralt (2003) también observaron un incremento en la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de mango al incrementarse la concentración de la disolución osmótica.

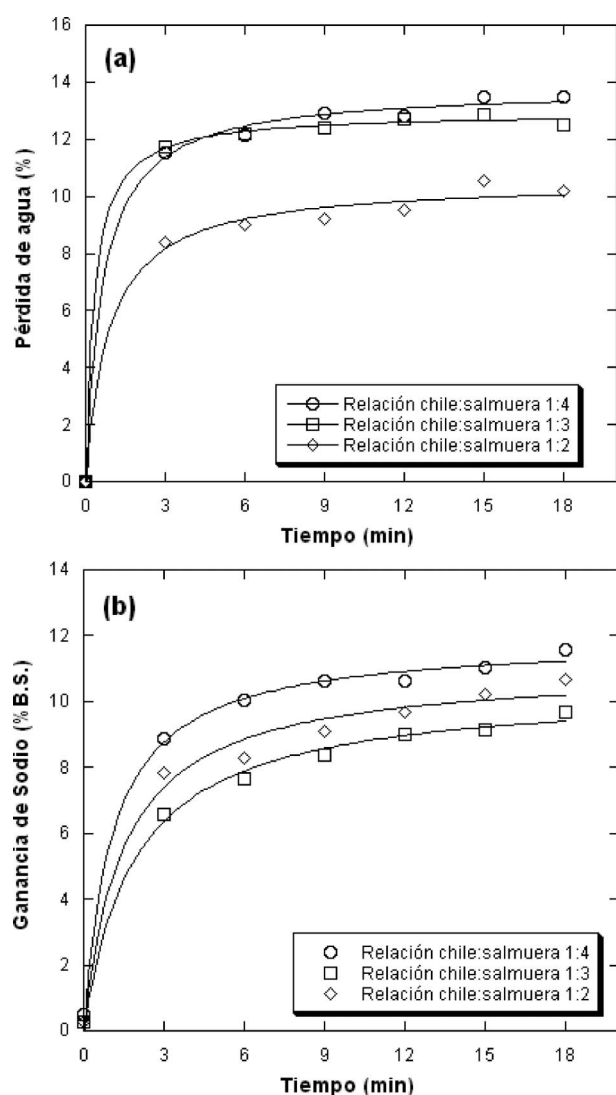


Figura 2. (a) Pérdida de humedad; (b) y ganancia de sodio de rodajas de chile Habanero durante su inmersión en salmuera a diferentes relaciones chile:salmuera.

Figure 2. (a) Moisture loss; (b) and sodium gain of Habanero chili pepper slices during immersion in brine of different slices:brine ratios.

La relación chile:salmuera fue un factor que influyó significativamente en la pérdida de agua y la ganancia de sodio en las rodajas de chile durante el tratamiento. Así, al aumentar la proporción de salmuera en relación con las rodajas de chile, mayor era el efecto (Figura 2). Lo anterior puede explicarse si se considera que a mayor relación chile:salmuera se interpone un mayor volumen de salmuera entre las rodajas tratadas, con lo que es más factible romper el equilibrio osmótico en el entorno próximo a la superficie de las rodajas de chile. Resultados similares fueron observados por Sousa et al. (2003) durante la deshidratación osmótica de plátano en proporciones de fruto-jarabe 1:2 y 1:4, encontrando una mayor pérdida de agua y una mayor ganancia de sólidos en el tratamiento con la proporción 1:4.

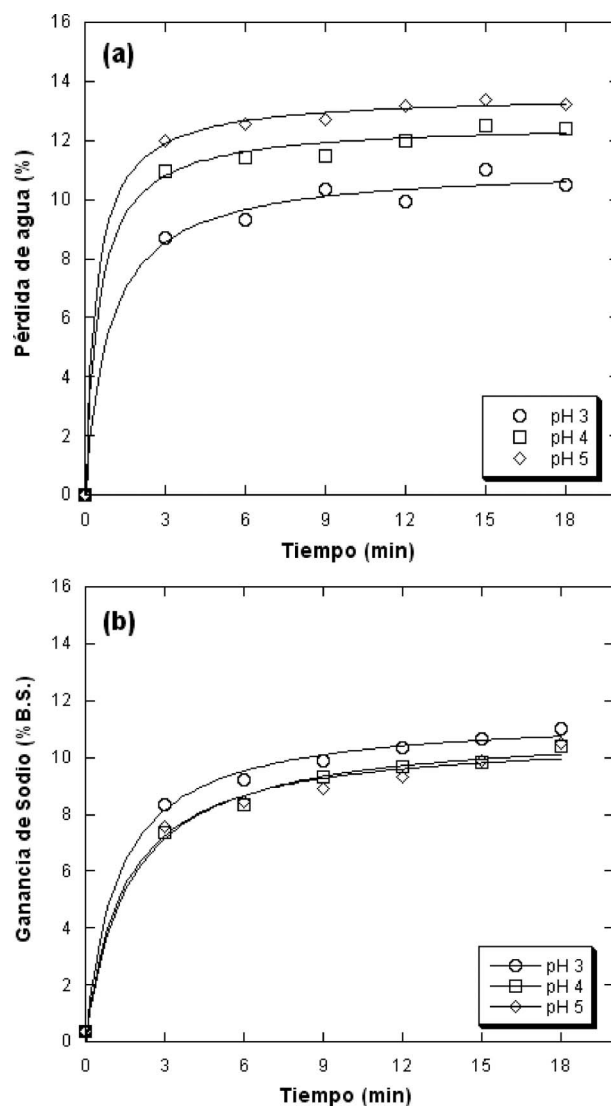


Figura 3. (a) Pérdida de humedad; (b) y ganancia de sodio de rodajas de chile Habanero durante su inmersión en salmuera a diferentes valores de pH.

Figure 3. (a) Moisture loss; (b) and sodium gain of Habanero chili pepper slices during immersion in brine at different pH values.

El pH influyó durante el proceso de deshidratación osmótica de las rodajas de chile durante su inmersión en salmuera. Éste mostró sus efectos principalmente sobre la pérdida de agua de las rodajas de chile a lo largo de los tratamientos. Se observa que al aumentar el pH de la salmuera, mayor fue la pérdida de agua de las rodajas (Figura 3(a)). Lo anterior no coincide con lo reportado por Luna et al. (1996) en donde no se encontró diferencia en la pérdida de agua dentro del rango de pH comprendido entre tres y cinco. Esto pudiera estar relacionado con las diferencias estructurales presentadas entre las rodajas de chile Habanero y las de chile jalapeño. Esto sugiere la realización de más estudios al respecto. Autores como Chiralt y Fito (2003) y Salvatori y Alzamora (2000), han insistido en el efecto de la transferencia de masa durante los

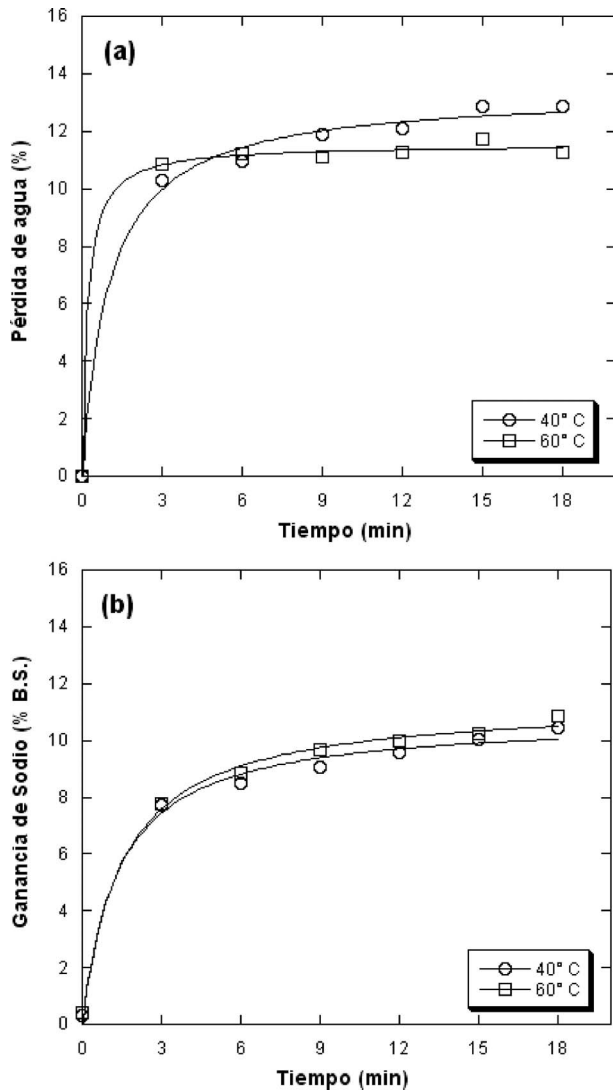


Figura 4. (a) Pérdida de humedad; (b) y ganancia de sodio de rodajas de chile Habanero durante su inmersión en salmuera a diferentes temperaturas.

Figure 4. (a) Moisture loss; (b) and sodium gain of Habanero chili pepper slices during immersion in brine at different temperatures.

procesos de secado osmótico, sobre las características y los cambios estructurales que sufren los frutos durante el proceso. La ganancia de sodio fue ligeramente mayor a pH 3 sobre los tratamientos realizados a pH 4 y 5 (Figura 3(b)). No encontrando diferencia significativa entre éstos dos últimos niveles de pH. Similares observaciones son reportadas por Luna et al. (1996). En ellas no se encontró influencia del pH sobre la transferencia de cloruro de sodio a las rodajas de chile jalapeño.

Raoult-Wack, Guilbert, LeMaguer, y Rios (1991) identificaron dos etapas en el proceso de deshidratación osmótica: primero una deshidratación, durante la cual la pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos, y posteriormente, la impregnación, durante la cual la ganancia de sólidos es mayor que la pérdida de

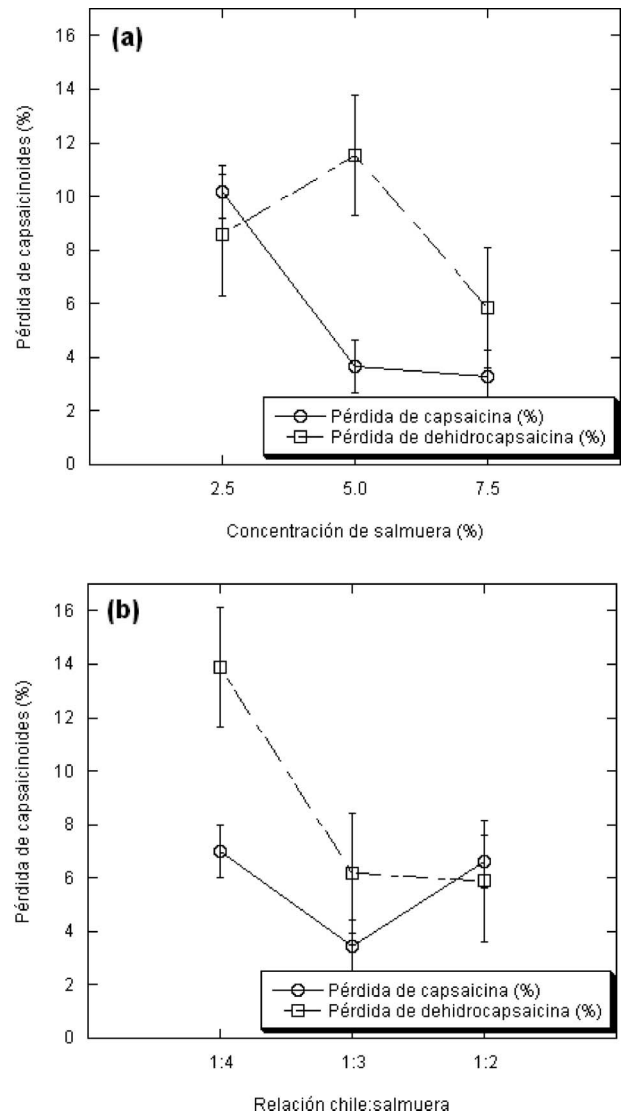


Figura 5. (a) Pérdida de capsaicinoides de rodajas de chile Habanero por inmersión en salmuera a diferentes concentraciones de sal; (b) y distintas relaciones chile:salmuera.

Figure 5. (a) Capsaicinoids losses in Habanero chili pepper slices during immersion in brine at different salt concentrations; (b) and slices:brine ratios.

agua. Se ha observado que un aumento en la temperatura favorece la transferencia de masa de solutos hacia el interior del fruto, es decir la impregnación, y que para reducir la impregnación y favorecer la deshidratación se debe operar a menores temperaturas (Genina-Soto & Altamirano-Morales, 2005). Lo anteriormente planteado pudo observarse al analizar el efecto de la temperatura sobre la pérdida de agua y ganancia de sodio en las rodajas de chile Habanero inmersas en salmuera (Figuras 4(a) y (b)). Se observó una mayor pérdida de agua a partir de los nueve minutos de tratamiento a 40 °C sobre los realizados a 60 °C (Figura 4(a)). En referencia a la ganancia de sodio, ésta fue ligeramente mayor a 60 °C que la

observada a 40 °C a partir de los nueve minutos de tratamiento (Figura 4(b)).

El modelo matemático empleado demostró un buen ajuste para predecir tanto la pérdida de agua como la ganancia de sodio durante la deshidratación osmótica de las rodajas de chile Habanero, así como también para calcular los valores de pérdida de agua y ganancia de sodio al equilibrio (Tabla 1). Considerando la bondad de ajuste de los datos experimentales del presente trabajo, puede observarse que éstos fueron similares a los reportados en la evaluación del modelo matemático en el cual se emplearon distintos alimentos (Azuara et al., 1992a, 1992b; Beristain, Azuara, Cortés, & García, 1990).

Pérdida de capsaicina y deshidrocapsaicina

Durante los procesos de deshidratación osmótica un tercer fenómeno, que consiste en la transferencia de solutos del alimento a la disolución, es comúnmente considerado poco relevante. Sin embargo, éste cobra gran importancia cuando dichos solutos influyen de manera importante en las propiedades sensoriales del alimento (Raoult-Wack, Lenart, & Guilbert, 1994). Este es el caso de los capsaicinoides presentes en el chile. En este sentido se observó que la pérdida de capsaicina de las rodajas de chile Habanero durante su inmersión en salmuera fue significativamente mayor cuando la concentración de sal era de 2,5% en la salmuera (Figura 5(a)). Para la deshidrocapsaicina se midió una mayor pérdida con 5,0% de sal.

Al considerar el efecto de la relación chile:salmuera se encontró que las mayores extracciones de capsaicina ocurrieron a relaciones de 1:4 y 1:2. La extracción de deshidrocapsaicina fue significativamente mayor en la relación 1:4 (Figura 5(b)). Lo anterior coincide con lo observado por Luna et al. (1996) en donde la relación chile salmuera 1:4 fue la que mayor pérdida de capsaicina provocó en chile jalapeño durante su deshidratación osmótica en disoluciones de cloruro de sodio.

El pH influyó significativamente en la extracción de capsaicina, siendo mayor la pérdida del alcaloide a pH 3. En contraste, para la pérdida de deshidrocapsaicina no se encontró diferencia significativa entre los tres niveles de pH evaluados (Figura 6(a)).

Por otro lado, al tomar en cuenta el efecto de la temperatura, se encontraron diferencias significativas y la mayor extracción de capsaicina se midió a los 40 °C. Lo contrario se observó para la extracción de deshidrocapsaicina, para la que no se obtuvieron diferencias significativas entre las dos temperaturas evaluadas (Figura 6(b)).

La extracción de la capsaicina y la deshidrocapsaicina de las rodajas de chile Habanero durante el proceso de deshidratación osmótica puede ser comprendida considerando no sólo la difusión de estos alcaloides a través de las membranas celulares, sino

también el daño estructural en las membranas celulares del tejido vegetal que conforma el pericarpio del fruto, ocasionado por el estrés osmótico del proceso. Estos cambios estructurales provocan la liberación de los capsaicinoides desde las vacuolas intracelulares del tejido que las contiene (Barat, Fito, & Chiralt, 2001; Fito, Chiralt, Barat, Salvatori, & Andrés, 1998).

Finalmente al considerar el efecto interactivo de todos los factores evaluados se observó que la mayor extracción de capsaicina, equivalente al 25%, fue obtenida cuando el tratamiento osmótico se realizó con 2,5% de sal, una relación chile:salmuera 1:2, un valor de pH 3 y temperatura de 40 °C.

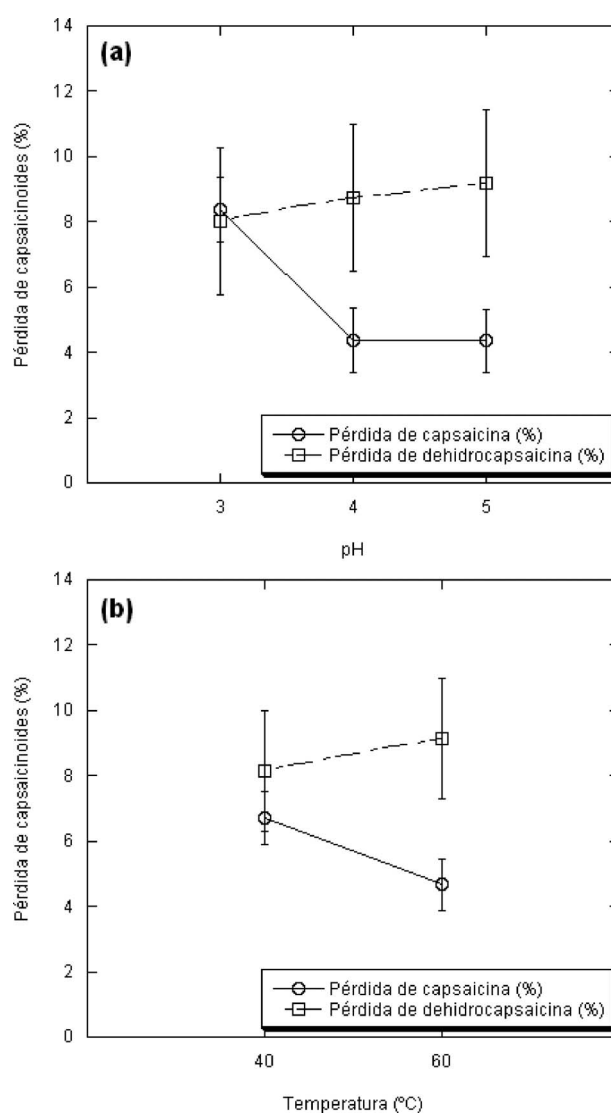


Figura 6. (a) Pérdida de capsaicinoides de rodajas de chile Habanero por inmersión en salmuera a diferentes valores de pH; (b) y temperaturas.

Figure 6. (a) Capsaicinoids losses in Habanero chili pepper slices during immersion in brine at different pH values; (b) and temperatures.

Tabla 1. Valores de pérdida de agua y ganancia de sodio al equilibrio estimados a partir de los datos mostrados en las Figuras 1 a 4, empleando el modelo matemático propuesto por Azuara et al. (1992a).

Table 1. Estimated values for moisture loss and sodium gain at equilibrium, from data of Figures 1 to 4, by the model of Azuara et al. (1992a).

Condiciones	Constante relacionada con la velocidad (S_1) (min^{-1})	Pérdida de agua al equilibrio (WFL ∞) (%)	Ajuste de los datos al modelo durante la pérdida de agua (R^2)	Constante relacionada con la velocidad (S_2) (min^{-1})	Ganancia de sodio al equilibrio (WFL ∞) (% base seca)	Ajuste de los datos al modelo durante la ganancia de sodio (R^2)
Salmuera al 2,5%	1,6	9,8	0,997	0,29	8,7	0,995
Salmuera al 5,0%	1,2	13,1	0,996	0,6	12,2	0,997
Salmuera al 7,5%	1,4	14,9	0,998	0,8	13,7	0,996
Relación chile salmuera 1:4	1,2	14,0	0,998	0,8	12,2	0,997
Relación chile salmuera 1:3	3,5	12,9	0,999	0,5	10,7	0,997
Relación chile salmuera 1:2	0,8	10,9	0,993	0,5	11,6	0,994
Medio a pH 3	1,0	11,2	0,993	0,7	11,8	0,998
Medio a pH 4	1,3	12,9	0,998	0,5	11,2	0,997
Medio a pH 5	2,0	13,7	0,999	0,5	11,3	0,992
Medio a 40 °C	0,8	13,7	0,998	0,5	11,3	0,996
Medio a 60 °C	5,0	11,5	0,998	0,6	11,7	0,997

Conclusiones

Los factores evaluados durante el presente trabajo: valores de pH, temperatura, concentración de sal y relación chile:salmuera, mostraron un efecto significativo sobre la pérdida de humedad en las rodajas de chile Habanero durante su inmersión en salmuera, siendo los que mayor efecto mostraron, los valores de pH 5, temperatura de 40 °C, 7,5% de sal y la relación chile:salmuera de 1:4.

Considerando la ganancia de sodio durante los tratamientos planteados, se concluye que todos los factores considerados mostraron un efecto, siendo los niveles de pH 4 y 5, a 40 °C, la relación chile:salmuera 1:3 y la concentración de sal de 2,5% los que menor ganancia tuvieron.

Tomando en cuenta los factores evaluados durante la pérdida de capsaicina se puede concluir que todos los factores considerados mostraron efecto significativo sobre dicha pérdida, siendo el valor de pH 3, la temperatura de 40 °C, la relación chile:salmuera 1:2 y la concentración de sal 2,5%, los que provocaron la mayor pérdida de capsaicina, logrando una extracción del 25%.

Referencias

- Andrews, J. (1995). *Peppers. The domesticated Capsicums*. Austin, TX: University of Texas Press.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official methods of analysis* (17th ed.). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Azuara, E., García, H.S., & Beristain, C.I. (1992a). Development of mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. *Journal of Food Science and Technology*, 29, 239–242.
- Azuara, E., Cortés, R., García, H.S., & Beristain, C.I. (1992b). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's Second Law. *International Journal of Food Science and Technology*, 27, 409–418.

- Barat, J.M., Fito, P., & Chiralt, A. (2001). Modeling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering*, 49, 77–85.
- Batchelor, J.D., & Jones, B.T. (2000). Determination of the Scoville heat value for hot sauces and chilies: An HPLC experiment. *Journal of Chemical Education*, 77, 266–267.
- Beristain, C.I., Azuara, E., Cortés, R., & García, H.S. (1990). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 576–582.
- Betts, T.A. (1999). Pungency quantitation of hot pepper sauces using HPLC. *Journal of Chemical Education*, 76, 240–244.
- Blum, E., Mazourek, M., O'Connell, M., Curry, J., Thorup, T., Liu, K., et al. (2003). Molecular mapping of capsaicinoid biosynthesis genes and quantitative trait loci analysis for capsaicinoid content in *Capsicum*. *Theoretical and Applied Genetics*, 108, 79–86.
- Chavarro-Castrillón, L.M., Ochoa-Martínez, C.I., & Ayala-Aponte, A. (2006). Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (*Carica papaya* L., var. Maradol). *Ciencia e Tecnología de Alimentos*, 26, 596–603.
- Chenlo, F., Chaguri, L., Santos, F., & Moreira, R. (2006). Osmotic dehydration/impregnation kinetics of padrón pepper (*Capsicum annuum* L. *Longum*) with sodium chloride solutions: Process modeling and colour analysis. *Food Science and Technology International*, 12, 221–227.
- Chiralt, A., & Fito, P. (2003). Transport mechanisms in osmotic dehydration: The role of the structure. *Food Science and Technology International*, 9, 179–186.
- Dock, L.L., Ozaslan, B.F., & Floros, J.D. (1997). *Factors influencing the osmotic dehydration of green peppers*. Orlando, FL: IFT Annual Meeting and Food Expo. 19 pp.
- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J., Salvatori, J.D., & Andrés, A. (1998). Some advances in osmotic dehydration of fruit. *Food Science and Technology International*, 4, 329–338.
- García, H.S., Ortega, J., & García, M.E. (1995). La capsaicina, el principio pungente del chile; su naturaleza, absorción, metabolismo y efectos farmacológicos. *Ciencia*, 46, 85–102.

- Genina-Soto, P., & Altamirano-Morales, S.B. (2005). Deshidratación osmótica de prismas de camote, manzana y papa. *Interiencia*, 30, 485–487.
- Gibbs, H.A.A., & O'Garro, L.W. (2004). Capsaicin content of West Indies hot pepper cultivars using colorimetric and chromatographic techniques. *HortScience*, 39, 132–135.
- Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, 58, 33–43.
- Krajewska, A.M., & Powers, J.J. (1987). Gas chromatographic determination of capsaicinoids in green *Capsicum* fruits. *Journal of the Association of Official Analytical Chemistry*, 70, 926–928.
- Kurian, A.L., & Starks, A.N. (2002). HPLC analysis of capsaicinoids extracted from whole orange habanero chili peppers. *Journal of Food Science*, 67, 956–962.
- Luna, G., García, H.S., & Beristain, C.I. (1996, Junio). *Capsaicinoids losses during osmotic dehydration of jalapeño peppers*. New Orleans, Louisiana: IFT Annual Meeting and Food Expo. 143 pp.
- Maillard, M.N., Giampaoli, P., & Richard, H.M.J. (1997). Analysis of eleven capsaicinoids by reversed-phase high performance liquid chromatography. *Flavour and Fragrance Journal*, 12, 409–413.
- Mata, M.M., Burgueo-Tapia, E., & Paniagua-Murillo, J.J. (1987). Determinación cuantitativa de la capsaicina en diferentes variedades de chile. *Gestión Tecnológica*, 6, 23–28.
- Narasimha, P.B.C., Vinod, K., Gururaj, H.B., Parimalan, R., Giridhar, P., & Ravishankar, G.A. (2006). Characterization of capsaicin synthase and identification of its gene (csyl) for pungency factor capsaicin pepper (*Capsicum* sp.). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 13315–13320.
- Ochoa-Martínez, C.I., & Ayala-Aponte, A. (2005). Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4, 330–342.
- Perucka, I., & Oleszek, W. (2000). Extraction and determination of capsaicinoids in fruit of hot pepper *Capsicum annuum* L. by spectrophotometry and high-performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 71, 287–291.
- Prado-Urbina, G. (2001). *Tecnología de producción comercial de chile habanero* (*Capsicum chinense* Jacq.). Tabasco, México: Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco.
- Raoult-Wack, A., Guilbert, S., LeMaguer, M., & Rios, G. (1991). Simultaneous water and solute transport in shrinking media. Part 1. Application to dewatering and impregnation soaking process analysis. *Drying Technology*, 9, 589–612.
- Raoult-Wack, A., Lenart, A., & Guilbert, S. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5, 225–260.
- Rastogi, N.K., & Raghavarao, K.S.M.S. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology*, 13, 48–59.
- Reilly, C.A., Crouch, D.J., & Post, G.S. (2001). Quantitative analysis of capsaicinoids in fresh peppers, oleoresin *Capsicum* and pepper spray products. *Journal of Forensic Sciences*, 46, 502–509.
- Sablani, S.S., & Rahman, M.S. (2003). Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. *Food Research International*, 36, 65–71.
- Salvatori, D., & Alzamora, S.M. (2000). Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples as affected by blanching and process variables. *Drying Technology*, 18, 361–382.
- Schweiggert, U., Carle, R., & Schieber, A. (2006). Characterization of major and minor capsaicinoids and related compounds in chilipods (*Capsicum frutescens* L.) by high-performance liquid chromatography/atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 557, 236–244.
- Sousa, P.H.M., Maia, G.A., Souza Filho, M.S.M., Figueiredo, R.W., Nassu, R.T., & Souza Neto, M.A. (2003). Influencia da concentracao e da proporcao fruto: Xarope na desidratacao osmotica de bananas processadas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23, 126–130.
- Vázquez-Flota, F., Miranda-Ham, M.L., Monforte-González, M., Gutiérrez-Carbajal, G., Velázquez-García, C., & Nieto-Pelayo, Y. (2007). La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30, 353–360.