

Cinética de los cambios de firmeza de láminas de sardina durante la deshidratación osmótica con pulso de vacío

(FIRMNESS CHANGE KINETICS OF SARDINE SHEETS DURING VACUUM PULSE OSMOTIC DEHYDRATION)

OTONIEL CORZO¹, NELSON BRACHO² Y JEÁN MARVAL¹.

¹Departamento de Tecnología de Alimentos. ²Departamento de Estadística. Universidad de Oriente. Núcleo de Nueva Esparta. Boca de Río.

E-mail: otocorzo@cantv.net

Recibido marzo 2005 - Aceptado diciembre 2005

RESUMEN

Se determinó la cinética del cambio de firmeza de láminas de sardina durante la deshidratación osmótica con pulso de vacío a temperaturas entre 30 y 38 °C y concentración de la salmuera entre 0,15 y 0,27 gNaCl/g. Los resultados indicaron que los cambios de firmeza seguían una cinética de primer orden ($R^2 > 0,90$). La constante de velocidad aumentó cuando se incrementó la concentración y temperatura de la solución osmótica ($p < 0,05$). La constante de velocidad varió entre $4,05 \times 10^{-3}$ y $9,02 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$. La dependencia de la constante de velocidad con la temperatura señaló un relación tipo Arrhenius ($R^2 > 0,90$). Las energías de activación variaron entre 17,00 y 19,99 kJ/mol. El alto valor de la energía de activación (19,99 kJ/mol) indicó la mayor sensibilidad a la temperatura para la firmeza a 0,15 gNaCl/g.

PALABRAS CLAVE

Cinética del cambio de firmeza, Láminas de sardina, Deshidratación osmótica con pulso de vacío.

ABSTRACT

Kinetics of firmness change of sardine sheets during pulse vacuum osmotic dehydration was determined at temperatures between 30 and 38 °C, and brine concentration between 0.15 and 0.27 gNaCl/g. Results indicated that firmness changes followed first order kinetics ($R^2 > 0.90$). The rate constant increased with increasing concentration and temperature of osmotic solution ($p < 0.05$). The rate constant varied from 4.05×10^{-3} to $9.02 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$. The temperature dependence of the rate constant indicated an Arrhenius relationship ($R^2 > 0.90$). The activation energies varied from 17.00 to 19.99 kJ/mol. Higher activation energy

(19.99 kJ/mol) indicated the greatest temperature sensitivity for firmness at 0.15 gNaCl/g.

KEYWORDS

Kinetics of firmness change, Sardine sheets, vacuum pulse osmotic dehydration

INTRODUCCIÓN

La deshidratación osmótica se utiliza ampliamente para eliminar parte del agua presente en un alimento, al sumergirlo en una solución hipertónica. Este proceso es relativamente lento y para acelerar la transferencia de masa se puede aplicar presiones de vacío (Fito, 1994) y presiones hidrostáticas ultra altas (Rastogi y Niranján, 1998). La deshidratación osmótica con pulso de vacío consiste en sumergir un alimento en una solución osmótica, aplicar una presión de vacío por corto tiempo y luego continuar el proceso a presión atmosférica. Este proceso disminuye la actividad de agua y produce cambios en la estructura, textura, y propiedades sensoriales y funcionales del alimento (Torreggiani y Bertolo, 2002). La textura es uno de los más importantes atributos de un alimento procesado, y se puede determinar mediante un análisis sensorial o uno instrumental... El análisis instrumental es más conveniente que el sensorial ya que es sencillo de efectuar y rápido, pero requiere definir el método de medición, el instrumento y accesorios utilizados, el mecanismo de deformación (compresión, corte o tensión), y el tamaño y la geometría de la muestra (Luyten y Van Vliet, 1995). Para predecir los cambios de textura durante el proceso se requiere determinar los parámetros cinéticos que los representa. La mayoría de los estudios cinéticos en procesos y almacenamiento señalan que los cambios en la textura de frutas y vegetales siguen

una cinética de primer orden (Lenz y Lund, 1980; Huan y Bourne, 1983; Ramaswamy y Tung, 1989; Lau *et al.*, 2000; Nourian *et al.*, 2003), pero no hay ninguna información sobre los cambios en pescado durante la deshidratación osmótica. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos de la temperatura y concentración de la solución osmótica (salmuera) en la cinética de los cambios de textura (firmeza) de las láminas de sardina durante la deshidratación osmótica con pulso de vacío.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de las muestras:

Se utilizó sardina (*Sardinella aurita*) comprada a los pescadores de la zona de Los Cocos en la Isla de Margarita después de una hora de su captura. Las sardinas se filetearon y luego se cortaron en láminas con dimensiones promedio de longitud $20,1 \pm 0,2$ mm ($N = 700$), ancho $15,0 \pm 0,3$ mm, y espesor $6,3 \pm 0,8$ mm. Se seleccionó la forma geométrica regular de láminas para evitar efectos no controlados en la firmeza. Se midió la firmeza inicial de las láminas en cuatro puntos distintos y en diez láminas diferentes. Todos los resultados corresponden al promedio de cuatro réplicas.

Deshidratación osmótica:

Al azar se seleccionaron láminas para formar siete grupos de cuatro láminas cada uno que se colocaron en sendas celdas de cuatro compartimientos con el objeto de evitar la interferencia entre ellas. Los siete grupos se introdujeron simultáneamente en una solución salina de concentración y temperaturas dadas, se aplicó un vacío de 700 mbar durante 10 min, se rompió el vacío y se continuó a presión atmosférica la deshidratación osmótica; posteriormente se extrajo un grupo al finalizar cada ciclo de vacío (20 min), y a intervalos de 40, 60, 90, 120, 180 y 240 min. Las láminas deshidratadas de cada grupo se escurrieron durante 5 min, se secaron superficialmente con papel absorbente y a cada lámina se le midió la firmeza. Todos los resultados corresponden al promedio de cuatro réplicas.

Este procedimiento se realizó en cada experiencia de acuerdo con un diseño factorial 5x5 en el cual la temperatura y concentración de la solución osmótica eran 30, 32, 34, 36 y 38 °C, 0,15; 0,18; 0,21; 0,24 y 0,27 gNaCl/g, respectivamente.

La solución osmótica (salmuera) se preparó mezclando la sal de calidad comercial con la cantidad apropiada de agua destilada. La proporción de peso de salmuera a peso de las láminas siempre fue superior a 20:1 para evitar dilución significativa del medio osmótico por la extracción de agua de la muestra, lo cual llevaría a la reducción local de la

fuerza osmótica durante el proceso. La concentración de la salmuera se controló a lo largo de cada experimento midiendo la concentración de sal por el método de Mohr (AOAC, 1990). Las temperaturas también se controlaron utilizando un termómetro digital con precisión de $\pm 0,1$ °C.

Medición de la firmeza:

La firmeza de cada lámina se midió en cinco puntos distintos mediante un texturómetro TA-TX2 con una sonda cilíndrica de 2 mm de diámetro que se desplazaba a una velocidad de 4,5 mm/s para penetrar una distancia de 4 mm. El valor de la firmeza correspondió a la máxima fuerza de penetración expresada en Newton. Todos los resultados corresponden al promedio de cuatro réplicas.

Medición de la firmeza:

Numerosos estudios han descrito los cambios de textura en alimentos mediante un modelo cinético de primer orden representado por la ecuación:

$$\ln \frac{F_t}{F_0} = \pm k t \quad (1)$$

Donde F_0 es la textura inicial a un tiempo cero del proceso, F_t es la firmeza a un tiempo dado, t , y k es la constante de velocidad (min^{-1}). En la Ec. (1), " \pm " es "+" si la firmeza aumenta y "-" si disminuye. La representación gráfica del $\ln (F_t / F_0)$ vs. tiempo será una línea recta con pendiente igual a $\pm k$ a temperatura constante.

La dependencia de la constante de velocidad con la temperatura se puede representar por la ecuación de Arrhenius:

$$\ln (k) = \ln (k_0) - \frac{E_a}{RT} \quad (2)$$

donde: k_0 es el factor de frecuencia (min^{-1}), E_a es la energía de activación (kJ/mol), R es la constante universal de los gases (8,314 J/mol K) y T es la temperatura absoluta (K). La representación gráfica del logaritmo de la constante de velocidad vs. $1/T$ es una línea recta con pendiente negativa igual a E_a/R e intercepto igual a $\ln (k_0)$.

Análisis estadístico:

Los efectos de la temperatura, concentración y tiempo de deshidratación en la firmeza de las láminas se analizaron mediante un análisis de varianza. Para ajustar los datos de firmeza a la Ec. (1) y determinar la constante de velocidad

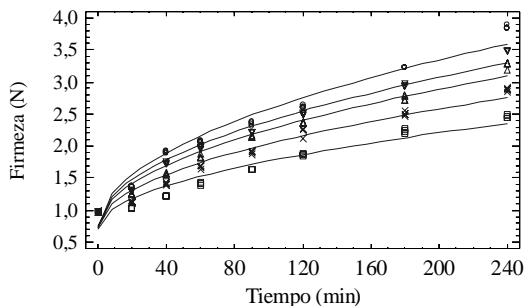
se utilizó la regresión lineal simple. Un análisis de varianza indicó los efectos de la temperatura y concentración sobre la constante de velocidad. Los valores de la constante de velocidad se ajustaron por regresión lineal simple a la Ec. (2) para explicar su dependencia con la temperatura. Mediante regresión lineal múltiple se encontró un modelo de predicción de la constante de velocidad en función de la concentración y temperatura. Para efectuar todos los análisis se utilizó el paquete estadístico Statgraphics 5.0 (Statistical Graphics Corp., Rockville, Md., U.S.A.).

RESULTADOS Y DISCUSION

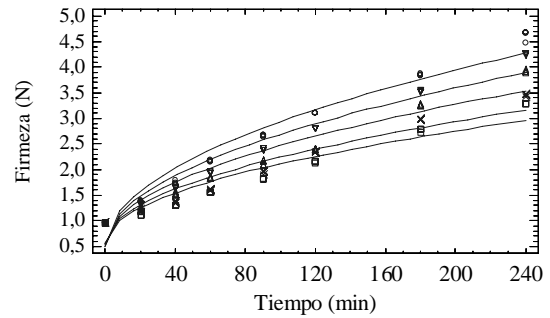
Cambios en la firmeza:

El análisis de varianza indicó que había diferencias significativas ($p < 0.05$) en la firmeza debidas a la temperatura, concentración, tiempo y sus interacciones. Los resultados experimentales de los cambios en la firmeza de las láminas de sardina durante la deshidratación osmótica se presentan en la Figura 1. Se puede ver que la firmeza aumentó ($p < 0.05$) al incrementarse la concentración y temperatura de la salmuera y el tiempo de deshidratación. El aumento no era lineal con el tiempo a todas las temperaturas y concentraciones, y más pronunciado al inicio del proceso. La firmeza de la sardina fresca tenía un valor de $0,7 \pm 0,2$ N y la de las láminas deshidratadas varió entre 2,3 y 5,8 N dependiendo de la temperatura y concentración de la salmuera. Esos resultados concuerdan con los encontrados en otros estudios de firmeza. Dunajski (1979) encontró que el pescado al aumentar su contenido de humedad era más blando; Jittinandana *et al.* (2002) señalaron que la fuerza de corte de filetes de trucha salados era mayor cuando se salaban en salmueras de alta concentración debido a que presentaban menor contenido de humedad; Barat *et al.* (2002) observaron un aumento exponencial de la textura en el bacalao deshidratado cuando se aumentaba la concentración de la solución osmótica. Estos aumentos en la textura se deben a la disminución en las proteínas solubles y la mayor pérdida de agua al aumentarse la concentración y temperatura de la salmuera (Dunajski, 1979; Yashoda y Suyanarayana, 1998).

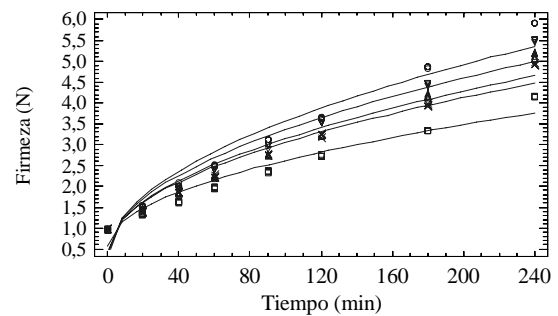
0,15 gNaCl/g



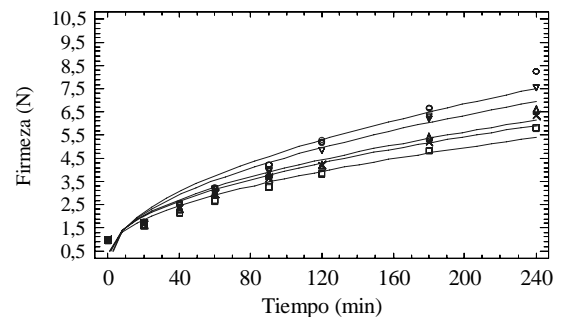
0,18 gNaCl/g



0,21 gNaCl/g



0,24 gNaCl/g



0,27 gNaCl/g

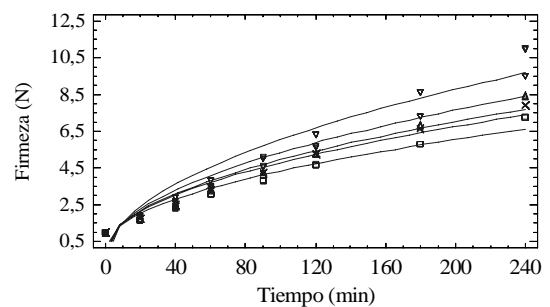


Figura 1. Cambios de la firmeza de láminas de sardina durante la deshidratación osmótica con pulso de vacío, en salmueras a diferentes concentraciones y temperaturas. (□) 30 °C; (x) 32 °C; (Δ) 34 °C; (○) 36 °C; (○) 38 °C.

Cinética de los cambios de firmeza:

Los ajustes de los valores de la firmeza a la Ec. 1 presentaron valores del coeficiente de determinación mayores que 0,90 por lo tanto indicaron que los cambios de la firmeza seguían una cinética de primer orden. Los valores de la constante de velocidad () para los cambios de firmeza se determinaron a partir de la pendiente de la línea recta de los ajustes y se presentan en la Tabla 1. La comparación múltiple de medias señaló que a concentración constante de la salmuera k aumentaba ($p < 0,05$) al incrementarse la temperatura y que a temperatura constante k aumentaba ($p < 0,05$) al incrementarse la concentración.

TABLA 1

Valores de la constante de velocidad para la cinética de los cambios de firmeza de láminas de sardina durante la deshidratación osmótica con pulso de vacío.

determinación (R^2) mayores que 0,90) indicaron su aplicabilidad para todas las concentraciones (Tabla 2). Los valores calculados de la energía de activación (E_a) y del factor de frecuencia ($\ln k_0$) se presentan en la Tabla 2. Un valor alto de E_a indica mayor sensibilidad a la temperatura, por lo tanto la mayor sensibilidad de la constante de velocidad a los cambios de temperatura ($E_a = 19,99 \pm 0,95$ kJ/mol) ocurrió durante la deshidratación osmótica en salmuera de 0,15 gNaCl/g.

TABLA 2

Energía de activación () y factor de frecuencia (k_0) para la constante de velocidad de los cambios de firmeza a diferentes concentraciones de la salmuera.

Concentración (gNaCl/g)	E_a (kJ/mol)	$\ln k_0$	R^2
0,15	19,99±0,95a	2,44±0.37	0,961
0,18	17,29±0,64b	1,58±0.25	0,976
0,21	18,55±0,97c	2,21±0.49	0,925
0,24	18,79±0,88d	2,43±0.35	0,962
0,27	17,00±0,650e	1,85±0.26	0,974

* Valores promedio y desviación estándar ($p < 0,05$; $n = 4$)

Aplicando regresión lineal múltiple (Tabla 3) se ajustaron los valores de constante de velocidad a un modelo en función de la concentración (C) y temperatura (T) de la salmuera. El modelo ajustado correspondió a:

$$\ln k = 1,0940 + 0,0479 (C) - 2203,96 (1/T) \quad (3)$$

el cual explicó el 99,4% de la variabilidad en la constante de velocidad con un 99 % de nivel de confianza (Tabla 3). En este modelo el coeficiente de la concentración es positivo y el de la temperatura es negativo, lo cual indica que la constante de velocidad aumenta al incrementarse tanto la concentración como la temperatura. Con este modelo se puede calcular el valor de la constante de velocidad de la cinética de los cambios de firmeza de las láminas de sardina durante su deshidratación osmótica con pulso de vacío en salmueras con 0,15-0,27 gNaCl/g y temperaturas entre 30 y 38 °C

TABLA 2

Regresión lineal múltiple de la constante de velocidad en función de la concentración (C) y temperatura (T) de la salmuera.

* Valores promedio y desviación estándar ($p < 0,05$; $n = 4$)

Modelación de los efectos de la temperatura y concentración:

Para describir los efectos de la temperatura en la constante de velocidad se ajustaron sus valores al modelo de Arrhenius y los valores del coeficiente de

* Valores de $p < 0,001$ indican significancia $\alpha = 0,001$

CONCLUSIONES

Los cambios de firmeza de las láminas de sardina durante la deshidratación osmótica con pulso de vacío siguen una cinética de primer orden. Los valores de la constante de velocidad dependen de la temperatura y concentración de la solución osmótica; su dependencia con la temperatura está explicada por la ecuación de Arrhenius y un modelo en función de la temperatura y concentración explica la dependencia con estos factores.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th Edn. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

Barat, J. M., Rodriguez-Barona, S., Andrés, A. y Fito, P. 2002. *Influence of increasing brine concentration in the cod-salting process*. J. Food Sci. 67(5): 1922-1925.

Dunajski, E. 1979. *Texture of fish muscle*. J. Texture Studies. 10: 301-318.

Fito, P. 1994. *Modeling of vacuum osmotic dehydration of food*. J. Food Eng. 22: 313-328.

Huang, Y. T. y Bourne, M. C. 1983. *Kinetics of thermal softening of vegetables*. J. Texture Studies. 14: 1-9.

Jittinandana, S., Kenney, P. B., Slider, S. D. y Kiser, R. A. 2002. *Effect of brine concentration and brining time on quality of smoked rainbow trout fillets*. J. Food Sci. 67(3): 157-167.

Lau, M. H., Tang, J. y Swanson, B. G. 2000. *Kinetics of textural and color changes in green asparagus during thermal treatments*. J. Food Eng. 45(4): 231-236.

Lenz, M. K. y Lund, D. B. 1980. *Experimental procedures for determining destruction kinetics of food components*. Food Technol. 42: 51-58.

Luyten, H. y Van Vliet, T. 1995. *Fracture properties of starch gels and their dependency*. J- Texture Studies. 26: 281-286.

Nourian, F., Ramaswamy, H. S. y Kushalappa, A. C. 2003. *Kinetic changes in cooking quality of potatoes stored at different temperatures*. J. Food Eng. 60(3): 257-266.

Rastogi, N.K. y Niranjana, K. 1998 *Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple*. J. Food Sci. 63: 508-511.

Ramaswamy, H. S. y Tung, M. A. 1989. *Technical note: Textural changes as related to color of ripening bananas*. Intl. J. Food Sci. Technol. 24: 217-221.

Torreggiani, D. y Bertolo, G. 2002. *The role of an osmotic step: Combined processes to improve quality and control functional properties in fruit and vegetables*. In J. W. Chanes, G. V. Barbosa-Cánovas, & J. M. Aguilera (Eds.), *Engineering and food for the 21st century* (pp. 651-669). Boca Ratón, FL: CRC Press.

Yashoda, K. P. y Suryanarayana, S. V. 1998. *Studies on textural and histological changes in cured fish muscle*. J. Food Sci. Technol. 35(1): 21-24.