

EFFECTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE FLUJO DE LA SALMUERA SOBRE LA TRANSFERENCIA DE MASA EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LÁMINAS DE SARDINA (*SARDINELLA AURITA*).

EFFECTS OF FLOW CHARACTERISTICS OF BRINE ON MASS TRANSFER DURING OSMOTIC DEHYDRATION OF SARDINE SHEETS (*SARDINELLA AURITA*).

OTONIEL CORZO, NELSON BRACHO Y ELIANNY FIGUEROA.
Universidad de Oriente, Núcleo de Nueva Esparta, Guatamare.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de las características de flujo de la salmuera sobre la pérdida de agua, ganancia de sal y pérdida de masa durante la deshidratación osmótica de láminas de sardina. Láminas de 2x1,5x0,7 cm se deshidrataron osmóticamente en salmueras de concentración y temperatura dadas, éstas se extrajeron a los 20, 40, 60, 90, 120, 180 y 240 min, y se determinó la masa, humedad y % de NaCl para calcular la pérdida de agua, de masa y ganancia de sal. Ese procedimiento se repitió aplicando un diseño experimental 5x5 para temperaturas y concentraciones de 30, 32, 34, 36 y 38 °C, y 15, 18, 21, 24 y 27 %NaCl, respectivamente. Se determinaron el coeficiente de consistencia (0,34-0,66 Pasⁿ) y el índice de comportamiento de flujo (1,52-1,60) de la salmuera a cada combinación de concentración y temperatura, utilizando un viscosímetro Brookfield. La comparación múltiple de medias según LSD, señaló que la pérdida de agua, de masa y ganancia de sal aumentaron ($p < 0,05$) al incrementar el coeficiente de consistencia y el tiempo.

PALABRAS CLAVE: Características de flujo, deshidratación osmótica, *Sardinella aurita*.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the effects of flow characteristics of brine on water loss, salt uptake and mass loss during osmotic dehydration were evaluated on sardine sheets. Sheets with dimensions of 2 x 1,5 x 0,7 cm were osmotic dehydrated in brines of different concentrations and temperatures, then removed for analysis at times of 20, 40, 60, 90, 120, 180 and 240 min. Mass, moisture and percentage of NaCl were determined in order to calculate water loss, mass loss and salt uptake. That procedure was repeated by applying a 5x5 experimental design for which temperatures and concentrations were 30, 32, 34, 36 and 38 °C, 15, 18, 21, 24 and 27% of NaCl, respectively. Consistency coefficient (0,34-0,66 Pasⁿ) and flow behavior index (1,52-1,60) were determined at each combination of concentration and temperature, using a Brookfield viscometer. Multiple media comparison tests according to LSD, showed an increase in water loss, mass loss and salt uptake ($p < 0,05$) when consistency coefficient and time was increased.

KEY WORDS: Flow characteristics, osmotic dehydration, *Sardinella aurita*.

INTRODUCCIÓN

La deshidratación osmótica es un proceso para la remoción parcial de agua de un alimento cuando se coloca en una solución concentrada de un soluto soluble y se establece una diferencia de presión osmótica- La estructura celular compleja del alimento actúa como una membrana semipermeable no selectiva que permite el paso de agua desde el alimento a la solución como el paso de soluto desde la solución al alimento (Giangiaco *et al.* 1987). La velocidad de difusión del agua depende de varios factores tales como la concentración, temperatura, densidad y viscosidad de la solución osmótica asociados al tamaño y geometría del alimento y al nivel de agitación de la solución (Simal *et al.* 1998; Rastogi *et al.* 1999). La aplicación industrial de la deshidratación osmótica

está restringida por problemas teóricos y prácticos (Lazarides 1994). Así, el uso de soluciones de azúcar y sal concentradas produce mayor deshidratación del alimento, pero al ser viscosas se crean problemas prácticos de flotación de los alimentos, agitación y desecho de soluciones de alta demanda de oxígeno. Por otra parte, Yao y Le Moguer (1996) señalaron la importancia de entender los mecanismos de transferencia de masa desde el punto de vista ingenieril para el adecuado diseño de los equipos que el proceso requiere. Mavroudis *et al.* (1998) analizaron los efectos de la agitación sobre la transferencia de masa en manzanas en términos del número de Reynolds pero sin considerar las características de flujo de la solución osmótica que lo determinan, por lo tanto se hace necesario analizar la relación existente entre ellos. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de las características

de flujo de la salmuera sobre la transferencia de masa en la deshidratación osmótica de láminas de sardina, a diferentes condiciones de concentración y temperatura de la solución y diferentes tiempos de deshidratación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de las muestras

Se utilizó sardina (*Sardinella aurita*) adquirida a los pescadores de la zona de Los Cocos de la Isla de Margarita, en un tiempo no mayor de 1 h a partir de su captura para tener un producto fresco. Las sardinas fueron fileteadas manualmente y luego los filetes cortados en láminas en el músculo más cercano a la cabeza, utilizando un molde metálico. Las dimensiones promedio de las láminas eran $20,1 \pm 0,5$ mm de largo, $15,0 \pm 0,6$ mm de ancho y $6,4 \pm 0,9$ mm de espesor. Se seleccionaron 28 láminas al azar para formar siete grupos de cuatro láminas cada uno y se determinó la masa, humedad y contenido de sal (%NaCl) inicial en cada una de ellas. Cada grupo experimental se colocó en una celda de cuatro compartimientos con el objeto de evitar la interferencia entre ellas.

Deshidratación osmótica

Para realizar la deshidratación osmótica se utilizaron soluciones preparadas con sal común que luego se colocaron en desecadores sumergidos en baños termo-regulados. La solución preparada estaba en proporción de 20:1 con respecto a la masa de sardina para evitar dilución por efecto del agua extraída de la sardina durante la deshidratación. Los siete grupos se introdujeron simultáneamente en una solución salina de concentración y temperaturas dadas, para someterlos a deshidratación osmótica con agitación magnética constante, y posteriormente se extrajo un grupo cada 20 min durante la primera hora, cada 30 min durante la segunda hora y cada 60 min durante las dos horas restantes. Las láminas deshidratadas de cada grupo fueron escurridas durante 5 min, secadas superficialmente con papel absorbente y luego se determinaron la masa, la humedad y el contenido de sal (%NaCl) individualmente. Las condiciones de cada tratamiento experimental correspondieron a un diseño factorial completo $5 \times 5 \times 7$ con cuatro repeticiones en el cual la temperatura, concentración de la salmuera y tiempo de deshidratación fueron 30, 32, 34, 36, 38 °C, 15, 18, 21, 24, y 27 %NaCl y 20, 40, 60, 90, 120, 180 y 240 min, respectivamente. El número total de láminas utilizadas fue de 700.

La concentración de la salmuera (%NaCl) inicial y

durante cada tratamiento fue determinada por el método de Mohr (AOAC 1990). La humedad de las láminas de sardina frescas y deshidratadas se determinó colocándolas en una estufa a vacío (0,1 mm Hg) y 60 °C hasta lograr un peso constante AOAC (1990) y la masa utilizando una balanza analítica Mettler.

Para cada corrida experimental se determinó la pérdida de masa ΔM , la pérdida de agua ΔM_w y la ganancia de sal ΔM_s en las láminas de sardina, de acuerdo con:

$$\Delta M = \frac{m_t - m_0}{m_0} \quad (1)$$

$$\Delta M_w = \frac{(m_t x_w) - (m_0 x_{w0})}{m_0} \quad (2)$$

$$\Delta M_s = \frac{(m_t x_{st}) - (m_0 x_{s0})}{m_0} \quad (3)$$

siendo m_t y m_0 la masa final e inicial, x_w y x_{w0} la fracción de agua final e inicial, x_s y x_{s0} la fracción de NaCl final e inicial, respectivamente.

Estudio reológico

Paralelamente se realizó un estudio del comportamiento reológico de las soluciones salinas, determinando por triplicado, el coeficiente de consistencia (k) y el índice de comportamiento de flujo (n) a cada combinación de concentración y temperatura utilizada en la deshidratación osmótica, y de acuerdo al diseño experimental factorial completo de 5 concentraciones (15, 18, 21, 24 y 27 %NaCl) y 5 temperaturas (30, 32, 34, 36 y 38 °C). Para estas determinaciones se midió la viscosidad aparente (μ) utilizando un viscosímetro Brookfield modelo RVDV II+ con aguja # 1 y velocidades de rotación de 30, 50, 70, y 100 rpm. Las soluciones estaban colocadas en un baño termo-regulado. Las características de flujo de las salmueras se determinaron de acuerdo con la ecuación (Heldman y Singh 1981):

$$\log \mu = n \log \left(\frac{1}{n} \right) + \log k + (n-1) \log (4 \pi \text{ rpm}) = a + b \log (\text{rpm}) \quad (4)$$

siendo rpm el número de revoluciones por minuto de giro de la aguja del viscosímetro.

para los demás análisis se empleó el paquete estadístico Statgraphics 5,0.

Tratamiento estadístico

Se aplicó una regresión lineal simple para ajustar los datos de viscosidad aparente a la ecuación (4) y determinar las características de flujo k y n . Los valores obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza multivariado (MANOVA) y a una comparación múltiple de medias según la mínima diferencia significativa (LSD) para determinar los efectos de las condiciones de la deshidratación y de las características de flujo de la solución sobre la transferencia de masa (pérdida de agua, pérdida de masa y ganancia de sal). Para el MANOVA se utilizó el paquete estadístico SPSS 10,0, y

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características de flujo de las salmueras se presentan en la Tabla 1. Los valores del coeficiente de determinación ($R^2 > 0,98$) indicaron que los valores de k y n fueron determinados con una alta probabilidad. Los valores del coeficiente de consistencia (k) fueron menores de la unidad y difieren ($p < 0,05$) con la concentración y temperatura de la salmuera, mientras que los valores del índice de consistencia de flujo (n) fueron mayores de la unidad indicando así que las salmueras tenían un comportamiento de fluidos no newtonianos pero no variaron ($p > 0,05$) con la concentración y temperatura.

Tabla 1. Coeficientes de consistencia (k) e índices de comportamiento de flujo (n) de las salmueras a diferentes concentraciones y temperaturas.

Concentración (%NaCl)	Temperatura (°C)	k (Pa.s ⁿ)	n	R^2
15	30	0,435	1,577	0,985
	32	0,415	1,583	0,985
	34	0,365	1,605	0,984
	36	0,341	1,615	0,983
	38	0,366	1,599	0,995
18	30	0,513	1,553	0,989
	32	0,470	1,567	0,990
	34	0,458	1,567	0,990
	36	0,436	1,575	0,994
	38	0,423	1,578	0,989
21	30	0,605	1,534	0,983
	32	0,481	1,572	0,987
	34	0,456	1,578	0,989
	36	0,460	1,573	0,995
	38	0,401	1,598	0,991
24	30	0,640	1,536	0,982
	32	0,594	1,544	0,985
	34	0,660	1,522	0,993
	36	0,553	1,554	0,991
	38	0,571	1,543	0,993
27	30	0,661	1,536	0,987
	32	0,587	1,555	0,988
	34	0,543	1,569	0,989
	36	0,470	1,594	0,985
	38	0,489	1,583	0,988

La comparación múltiple de medias según LSD indicó que a concentración de la salmuera constante, k disminuía ($p < 0,05$) al incrementarse la temperatura, y a temperatura constante aumentaba ($p < 0,05$) al incrementarse la concentración. Esos resultados

conuerdan con los encontrados por Sawamura *et al.* (1992) y Chenlo *et al.* (2001) para soluciones salinas. Para explicar la dependencia de k con la temperatura se utilizó la ecuación de Arrhenius:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

siendo k_0 el factor de frecuencia, E_a la energía de activación R , la constante universal de los gases y T la temperatura absoluta. Los valores de k_0 y E_a se determinaron graficando el logaritmo natural de k vs. $1/T$ y de la línea recta resultante k_0 se tomó como el intercepto y $\frac{E_a}{R}$ como la pendiente.

El ajuste de los valores del coeficiente de consistencia por regresión lineal mostró que la ecuación de Arrhenius explicaba el 93,4-98,6 % de la variabilidad de k con la temperatura a cada concentración, con 95 % de nivel de

confianza. Los valores calculados de k_0 variaron entre 3,78 y 5,93. Las energías de activación variaron entre 22001,5 J/mol y 3419,7 J/mol. Tanto los valores de k_0 como los de E_a aumentaron al incrementarse la concentración de la salmuera. Las viscosidades de soluciones acuosas de cloruro de sodio a 20 °C se encuentran en el CRC Handbook of chemistry and physics Lide (1992) pero para otras temperaturas hay pocos datos (Korosi y Fabus 1968; Sawamura *et al.* 1992; Chenlo *et al.* 2002). En esos estudios no se determinó comportamiento no newtoniano de las soluciones tal como se encontró en este trabajo. Estrictamente hablando, todas las soluciones tienen un comportamiento no newtoniano, sin embargo esto no se manifiesta si tanto la concentración como la temperatura son muy bajas y el rango de valores de la velocidad de rotación de la aguja del viscosímetro es muy corto.

Tabla 2. Análisis de varianza multivariado de la pérdida de masa, pérdida de agua y ganancia de sal, en las láminas de sardina deshidratadas osmóticamente.

Efecto		Valor	F	g.l de la hipótesis	g.l del error	Valor p
k	Traza de Pilai	2,072	32,454	72	1047,000	0,000
	Lambda de Wilks	0,004	79,934	72	1037,000	0,000
	Traza de Hotelling	57,013	273,715	72	1037,000	0,000
	Raíz mayor de Roy	54,514	792,718	24	349,000	0,000
Tiempo	Traza de Pilai	1,064	31,961	18	1047,000	0,000
	Lambda de Wilks	0,044	109,561	18	981,866	0,000
	Traza de Hotelling	19,113	367,037	18	1037,000	0,000
	Raíz mayor de Roy	18,986	1104,347	6	349,000	0,000
$k \times \text{Tiempo}$	Traza de Pilai	1,766	3,468	432	1047,000	0,000
	Lambda de Wilks	0,061	3,728	432	1041,865	0,000
	Traza de Hotelling	5,049	4,040	432	1037,000	0,000
	Raíz mayor de Roy	2,961	7,176	144	349,000	0,000

Valores p menores de 0,05 indican efectos significativos.

Efecto de las condiciones de la deshidratación

Las características de flujo de las soluciones salinas dependen de la concentración y temperatura de éstas, por lo tanto estos dos factores están implícitos en los valores de las características. Dado que el índice de comportamiento de flujo no variaba con la concentración ni con la temperatura en los rangos utilizados, se consideró que esta característica reológica de las soluciones no debía

tomarse en el análisis de efectos sobre la transferencia de masa.

De acuerdo a los resultados del MANOVA se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en al menos una de las variables respuesta pérdida de masa, pérdida de agua y ganancia de sal debidas al tiempo de deshidratación, al coeficiente de consistencia (k) y a la interacción de estos dos factores (Tabla 2).

Tabla 3. Análisis de varianza de la pérdida de masa, pérdida de agua y ganancia de sal de las láminas deshidratadas osmóticamente.

Fuente	Variable	Suma de cuadrados	g.l	Media de cuadrados	F
<i>k</i>	Pérdida de Masa	993605,535	24	41400,231	699,474*
	Pérdida de Agua	17000,812	24	708,367	255,921*
	Ganancia de Sal	204399,147	24	8516,631	59,750*
Tiempo	Pérdida de Masa	221714,063	6	36952,344	624,325*
	Pérdida de Agua	6621,171	6	1103,619	398720*
	Ganancia de Sal	365847,990	6	60974,665	427778*
<i>k</i> x Tiempo	Pérdida de Masa	52480,919	144	364,451	6,158*
	Pérdida de Agua	1450,259	144	10,071	3,639*
	Ganancia de Sal	72947,172	144	506,578	3,554*
Error	Pérdida de Masa	20656,00	349	59,188	
	Pérdida de Agua	966,000	349	2,768	
	Ganancia de Sal	49745,833	349	142,538	
Total	Pérdida de Masa	7391468,000	699		
	Pérdida de Agua	177296,000	699		
	Ganancia de Sal	6898101,000	699		

* Significativo a $\alpha = 0,01$.

Como el MANOVA no discriminaba los efectos principales significativos ni la interacción significativa en las tres variables respuesta, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) por separado a la pérdida de masa, pérdida de agua y ganancia de sal para determinarlos. El ANOVA señaló (Tabla 3) que tanto los efectos principales como la interacción producían efectos significativos en las tres variables respuesta.

Con el fin de analizar los diferentes efectos producidos por la interacción se realizó una comparación múltiple de medias tanto para la pérdida de masa, como para la pérdida de agua y la ganancia de sal, de acuerdo a LSD. En las Figuras 1-3 se presentan las comparaciones en el tiempo de deshidratación para diferentes coeficientes de consistencia de la solución. Las soluciones están clasificadas en: grupo 1 las que tienen k entre 0,330 y 0,416 Pasⁿ, grupo 2 las que tienen k entre 0,425 y 0,472 Pasⁿ, y grupo 3 las que tienen k entre 0,485 y 0,672 Pasⁿ. Los grupos de soluciones se formaron tomando en cuenta que el rango de valores de k permitiera visualizar gráficamente los efectos sobre la transferencia de masa.

En la Figura 1 se puede ver que la pérdida de agua: a) durante los primeros 40 min no difiere en las soluciones

con k entre 0,425 y 0,672 Pasⁿ (grupos 2 y 3), b) permanece constante para tiempos mayores de 90 min en las soluciones con k entre 0,425 y 0,472 Pasⁿ (grupo 2), c) aumenta durante tiempos de deshidratación menores de 120 min en las soluciones con k entre 0,485 y 0,672 Pasⁿ (grupo 3), d) aumenta durante los primeros 90 min y luego permanece constante en las soluciones con k entre 0,330 y 0,416 Pasⁿ (grupo 1), y e) tiene los menores valores en las soluciones con k entre 0,330 y 0,416 Pasⁿ (grupo 1).

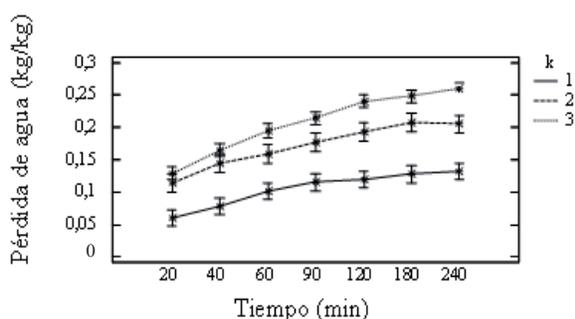


Figura 1. Comparación de medias de la pérdida de agua en el tiempo en soluciones osmóticas de diferente coeficiente de consistencia (k). Soluciones: grupo 1 k entre 0,330 y 0,416 Pasⁿ, grupo 2 k entre 0,425 y 0,472 Pasⁿ, y grupo 3 k entre 0,485 y 0,672 Pasⁿ.

En la Figura 2 se puede ver que la pérdida de masa: a) difiere a partir de los 180 min en las soluciones con k entre 0,425 y 0,472 Pas^n (grupo 2) y k entre 0,485 y 0,672 Pas^n (grupo 3), b) aumenta para los tiempos menores de 90 min y luego permanece constante en el tiempo en las soluciones con k entre 0,330 y 0,416 Pas^n (grupo 1), c) difiere para tiempos menores de 120 min y luego permanece constante en las soluciones con k entre 0,485 y 0,672 Pas^n (grupo 3) y k entre 0,485 y 0,672 Pas^n (grupo 3), d) difiere para tiempos menores de 60 min, y e) tiene los menores valores en soluciones con k entre 0,330 y 0,416 Pas^n (grupo 1).

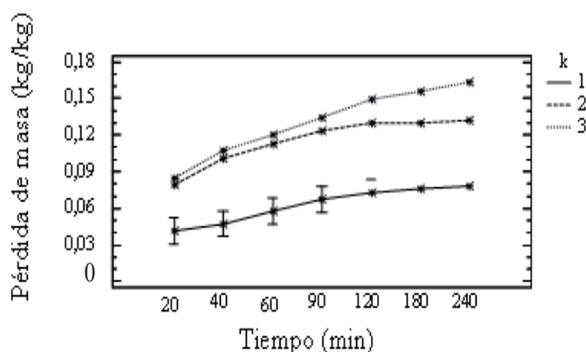


Figura 2. Comparación de medias de la pérdida de masa en el tiempo en soluciones osmóticas de diferente coeficiente de consistencia (k). Soluciones: grupo 1 k entre 0,330 y 0,416 Pas^n , grupo 2 k entre 0,425 y 0,472 Pas^n , y grupo 3 k entre 0,485 y 0,672 Pas^n .

En la Figura 3 se puede ver que la ganancia de sal: a) difiere después de 90 min en las soluciones con k entre 0,330 y 0,416 Pas^n (grupo 1) y k entre 0,425 y 0,472 Pas^n (grupo 2), y b) aumenta durante el tiempo en mayor proporción en las soluciones con k entre 0,485 y 0,672 Pas^n (grupo 3).

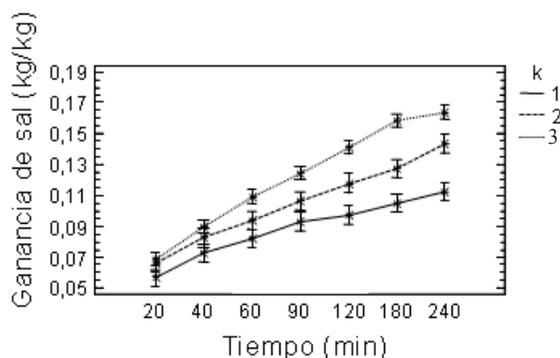


Figura 3. Comparación de medias de la ganancia de sal en el tiempo en soluciones osmóticas de diferente coeficiente de consistencia (k). Soluciones en: grupo 1 k entre 0,330 y 0,416 Pas^n , grupo 2 k entre 0,425 y 0,472 Pas^n , y grupo 3 k entre 0,485 y 0,672 Pas^n .

El comportamiento de la transferencia de masa demostró que ésta es mayor a mayores concentraciones, pero soluciones con mayor concentración son más resistentes al flujo y requieren por lo tanto de una mayor energía para su agitación. Raoult *et al.* (1989) señalaron un incremento en la pérdida de agua en soluciones agitadas comparada con las que no tienen agitación. Garrote *et al.* (1992) encontraron un aumento en la pérdida de agua en cubos de pera, frambuesa y manzana en soluciones con mayores niveles de agitación. Emam-Djomeh *et al.* (2001) encontraron que el aumento en la viscosidad de la solución osmótica era el factor principal que afectaba el proceso de difusión en geles de agar.

CONCLUSIONES

Estos resultados indican que tanto las condiciones de concentración y temperatura como las características reológicas de la solución osmótica, deben ser consideradas al cuantificar la transferencia de masa y la energía requerida en los aspectos de ingeniería de la deshidratación osmótica de láminas de sardina. Las soluciones osmóticas de mayor concentración producen mayor transferencia de masa pero tienen mayor coeficiente de consistencia, es decir son más viscosas y por lo tanto se requiere mayor energía cuando el proceso utiliza agitación. Al aumentar la temperatura de la solución se disminuye el coeficiente de consistencia y por lo tanto se requiere menor energía para su agitación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington. pp 1356 y 1651.
- CHENLO, F., MOREIRA, R., PEREIRA, G. & AMPUDIA, A. 2002. Viscosities of aqueous solutions of sucrose and sodium chloride of interest in osmotic dehydration processes. *J. Food Eng.* 54: 347-352.
- EMAN-DJOMEH, Z., DJELVEH, G. & GROS, J. B. 2001. Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution. Part I. Lowering of solute uptake in agar gels: diffusion considerations. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 34: 312-318.
- GARROTE, R. L., SILVA, E. R. & BERTONE, R. A. 1992. Osmotic concentration at 5 °C and 25 °C of pear and apple cubes and strawberry halves. *Lebensm., -Wiss. u.-Technol.* 25:133-138.

- GIANGIACOMO, R., TORREGGIANI, D. & ABBO, E. 1987. Osmotic dehydration of fruit. Part I: sugar exchange between fruit and extracting syrup. *J. Food Proc. Preserv.* 11: 183-195.
- HELDMAN, D. R. & SINGH, R. P. 1981. Food process engineering. 2nd ed. Avi Publishing Co., Inc, Westport, Conn, pp 73-85.
- KOROSI, A. & FABUS, B. M. 1968. Viscosities of binary aqueous solutions of NaCl, KCl, Na₂SO₄ at concentrations and temperatures of interest in desalination processes. *J. Chem. Eng. Data.* 13: 548-552.
- LAZARIDES, H. N. 1994. Osmotic preconcentration: development and prospects. In *Minimal Processing and Process Optimization of Foods. An Interface*, eds R. P Singh & F. A. R. Oliveira. CRC Press. Boca Raton, FL, pp 73-85.
- LIDE, R. 1992. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 73 th ed. Chemical Rubber Publishing Inc., New York, pp 457-489.
- MAVROUDIS, N. E., GEKAS, V. & SJOHOLM, I. 1998. Osmotic dehydration of apples. Effects of agitation and raw material characteristics. *J. Food Eng.* 35: 191-209.
- RASTOGI, N. K., ESHTISGHI, M. N. & KNORR, D. 1999. Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electrical field pulse pretreated carrots. *J. Food Sci.* 64:1020-1023.
- RAOULT-WACK, A. L., LAFONT, F., RIOS, G. & GUILIBERT, S. 1989. Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties. In: *Drying'89*, eds AS Mujumdar and M Roques, Hemisphere, pp 487-495.
- SAWARAMURA, S., YOSHIMURA, Y., KUTAMURA, K., & TANIGUCHI, Y. 1992. Effects of pressure, temperature, and concentration on the viscosity of an aqueous solution of sodium chloride. *J. Phys. Chem.* 96: 5526-5529.
- SIMAL, S., BENEDITO, J., SÁNCHEZ, E. S. & ROSELLO, C. 1998. Use of ultrasound to increase mass transport rate during osmotic dehydration. *J. Food Eng.* 36: 323-336.
- YAO, Z. & LE MAGUER, M. 1996. Mathematical modeling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part I: Conceptual and mathematical model. *J. Food Eng.* 29: 349-360.