

MODELOS EMPÍRICOS EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE PAPAS¹

Patricia A. Della Rocca*¹, Rodolfo H. Mascheroni²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química. Av. Medrano 951, (C1179 AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina

² Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos, CONICET La Plata y Universidad de La Plata, Calle 47 y 116, La Plata (B1900 AJJ), Buenos Aires, República Argentina

* Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida.
Correo electrónico: patriciadellarocca@gmail.com

Recibido el 13 de mayo de 2010; aceptado el 2 de agosto de 2010

Resumen

La deshidratación osmótica es una técnica de deshidratación parcial de alimentos ricos en agua que consiste en la inmersión de los mismos en soluciones acuosas de solutos (azúcares, otros edulcorantes, sales y mezclas de éstos) de alta presión osmótica. En el presente trabajo, los modelos empíricos (modelos de Peleg y Azuara) se ajustaron satisfactoriamente a los datos experimentales obtenidos en la deshidratación osmótica de papas inmersas en soluciones de sacarosa y sal. Las experiencias se llevaron a cabo en soluciones de distintas concentraciones de sacarosa (30%, 40% y 50% m/m) y la misma cantidad de sal, 10 % m/m.

Palabras clave: modelado secado, deshidratación osmótica, secado de papas, deshidratación de papas

Abstracts

Osmotic dehydration is a technique for the partial dehydration of water rich foods that consists of the immersion in aqueous solutions of solutes (sugars, others sweeteners, salts or their mixtures) having high osmotic pressure. In the present work, the experimental data obtained in the osmotic dehydration of potatoes in sucrose and salt aqueous solutions were adjusted with empiric models (Peleg and Azuara models) in a satisfactory way. The experiences were carried out in different concentration solutions: sucrose (30%, 40% and 50% w/w) and the same salt concentration (10 % w/w).

Key-words: drying modeling, osmotic dehydration, drying of potatoes, dehydration of potatoes

¹ Trabajo realizado en el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo: Deshidratación de alimentos por métodos combinados: deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Proyecto homologado por la Universidad Tecnológica Nacional, bajo el código 25/C107.

Introducción

La deshidratación osmótica es una tecnología que se utiliza como pretratamiento en el secado de hortalizas. Presenta la ventaja de los bajos requerimientos energéticos y la fácil disponibilidad y bajo costo de algunos agentes osmóticos, como la sacarosa y la sal. Durante el proceso, se extrae parcialmente el agua de los alimentos (generalmente frutas o vegetales) al sumergirlos en una solución hipertónica. Como consecuencia de ello, se produce una contra-difusión simultánea de agua y solutos (Saputra, 2001). Se pueden reconocer tres flujos:

1. Flujo de agua del producto a la disolución
2. Flujo de solutos de la disolución al producto
3. Flujo de solutos solubles en el agua desde el producto a la disolución (azúcares, ácidos orgánicos, minerales y vitaminas)

Generalmente, este último flujo se desprecia para los efectos del modelado, puesto que aunque es importante en las características organolépticas del alimento, es muy pequeño si se lo compara con los otros dos flujos. La velocidad de transferencia de masa disminuye hasta alcanzar el equilibrio, en el que la tasa neta de transporte de masa resulta nula. La alta complejidad del proceso de transferencia de masa hace que la predicción sea difícil cuando se emplean modelos matemáticos fenomenológicos como los basados en la solución de la segunda Ley de Fick, ya que requieren determinadas suposiciones que en la práctica no son fáciles de alcanzar y que dependen de la determinación apropiada de las condiciones de equilibrio. Esta complejidad hace que se interprete la información experimental mediante modelos empíricos y semiempíricos los cuales son válidos solamente para reproducir condiciones semejantes a las experiencias de las que se obtuvieron los datos. Entonces, la metodología que se utiliza generalmente es la correlación directa de la pérdida de agua y la ganancia de sólidos con algunas variables del proceso o el planteamiento de un ajuste polinómico (Ochoa Martínez y Ayala Aponte, 2005). Estos métodos no permiten extrapolar más allá del rango experimental. Además necesitan de muchos parámetros, que por lo general pueden no tener un significado físico o no siempre generan un buen coeficiente de correlación (Parjoko et al., 1996). En cuanto a los modelos empíricos y semiempíricos se pueden utilizar Peleg y Azuara (Azuara et al., 1992, 1998) o se recurre al ajuste polinómico (Mujica-Paz et al, 2003 a y b, Rahman et al, 2001, Sablani y Rahman, 2003).

Materiales y Métodos

Preparación de las muestras

Se trabajó con papas, variedad Spunta. Se eligió esta variedad por resultar ideal para hervir o asar.

Las papas se pelaron y cortaron manualmente en cubos de 1 cm de lado. El exceso de humedad exterior se eliminó mediante secado rápido con papel tissue.

Ensayos de deshidratación osmótica

Se prepararon soluciones con sacarosa y sal como solutos. Se trabajó variando la concentración de sacarosa en 30 %, 40 % y 50 % m/m (masa en masa) y la concentración de sal se mantuvo fija en 10 % m/m. La relación masa de solución a masa de papa fue de 4. La temperatura de trabajo fue de 40 ± 0.5 °C

Descripción de la experiencia

Al inicio de la experiencia se trabajó con una masa de papa de 270 g y una masa de solución de 1080 g (relación masa de solución/masa de papa igual a 4). El sistema se colocó en un vaso de precipitado de 2 L y se agitó a 110 rpm. Se separaron 10 g de papa sin deshidratar para llevar a estufa y hacer humedad inicial. A intervalos de una hora se pesó la masa de papa total para analizar la variación del peso en el tiempo. Antes de cada pesada se retiraron las papas de la solución, se enjuagaron con agua destilada y se las secó con papel tissue. En cada intervalo se separaron 5 g de papa para determinar humedad y así poder luego elaborar la curva de humedad del producto versus tiempo. Las curvas de humedad se llevaron a cabo por triplicado. Se utilizó para las pesadas una balanza granataria, Marca Mettler, modelo P1210 y precisión 10 mg

Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó a través de la pérdida de peso por desecación en estufa. Durante 2 h se las secó a 70 °C y luego a 104 °C por 72 h. En un principio el secado se realizó a menor temperatura, para evitar la pérdida abrupta de agua y la pérdida de material por proyección.

Medición de la transferencia de masa

La evolución de la transferencia de masa con el tiempo se midió a través de la pérdida de peso (WR); el contenido de sólidos totales (TS) y la pérdida de agua (WL)

$$WR (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

donde

m_i : masa inicial de muestra de papa fresca

m_f : masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo t

$$TS (\%) = (m_s / m_0) \times 100 \quad (2)$$

$$H (\%) = 100 - TS (\%) \quad (3)$$

m_s : masa de muestra seca

m_0 : masa de muestra fresca o inicial

H(%): porcentaje de humedad

m_s = masa de muestra seca; m_0 = masa de muestra fresca o inicial; H(%)= porcentaje de humedad

$$WL(\%) = 1 \frac{TS^0}{100} - 1 \frac{TS}{100} - 1 \frac{WR}{100} \times 100 \quad (4)$$

WR = pérdida de peso; TS^0 = contenido de sólidos totales iniciales

Resultados y Análisis

Los datos experimentales obtenidos en las experiencias de deshidratación osmótica se ajustaron con los modelos empíricos de Peleg y de Azuara.

Modelo de Peleg

Las curvas de pérdida de agua o de humedad en el producto se pueden modelar mediante la ecuación propuesta por Peleg (1998):

$$\frac{t}{H-H_i} = k_1 + k_2 t \quad (5)$$

donde:

t: tiempo

H: contenido de humedad a tiempo t

H_i : contenido de humedad inicial

k_1, k_2 : parámetros del modelo.

El significado físico para ambos parámetros del modelo se puede obtener haciendo que $t \rightarrow 0$ en la ecuación (5) y reordenando. Entonces se obtiene:

$$\frac{1}{k_1} = \frac{dH}{dt} \Big|_{t \rightarrow 0} \quad (6)$$

Podemos decir que k_1 es inversamente proporcional a la velocidad inicial de transferencia de agua.

Por otra parte, si $t \rightarrow \infty$, podemos encontrar la relación del parámetro k_2 con la humedad de equilibrio:

$$H_e = H_i + \frac{1}{k_2} \quad (7)$$

donde H_e es la humedad de equilibrio

En las Figuras 1 a 3 se muestra el ajuste de los datos experimentales al modelo de Peleg para las experiencias llevadas a cabo a distintas concentraciones de sacarosa en la solución deshidratante.

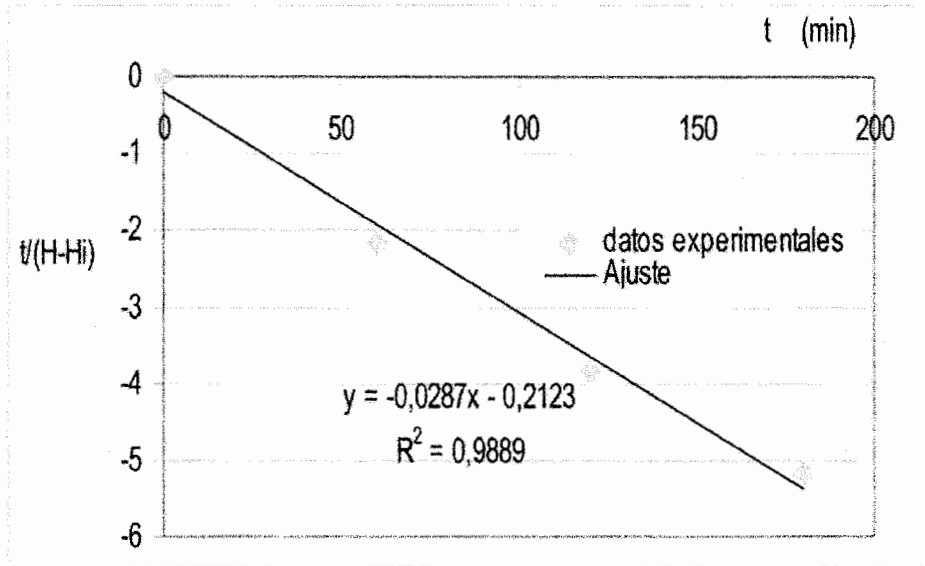


Figura 1. Ajuste de los datos experimentales al modelo de Peleg para la deshidratación osmótica de papas en solución de sacarosa al 50 % m/m y sal 10 % m/m

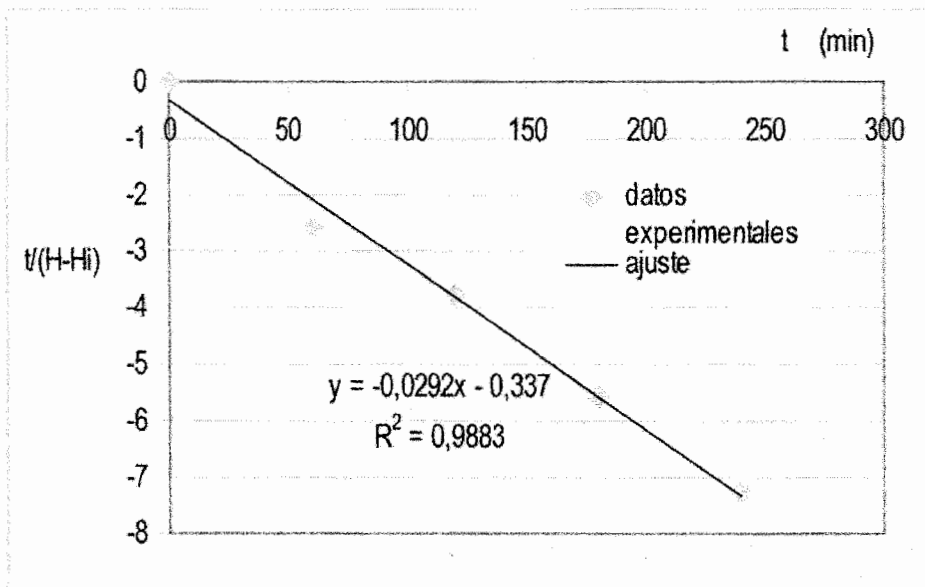


Figura 2. Ajuste de los datos experimentales al modelo de Peleg para la deshidratación osmótica de papas en solución de sacarosa al 40 % m/m y sal 10 % m/m

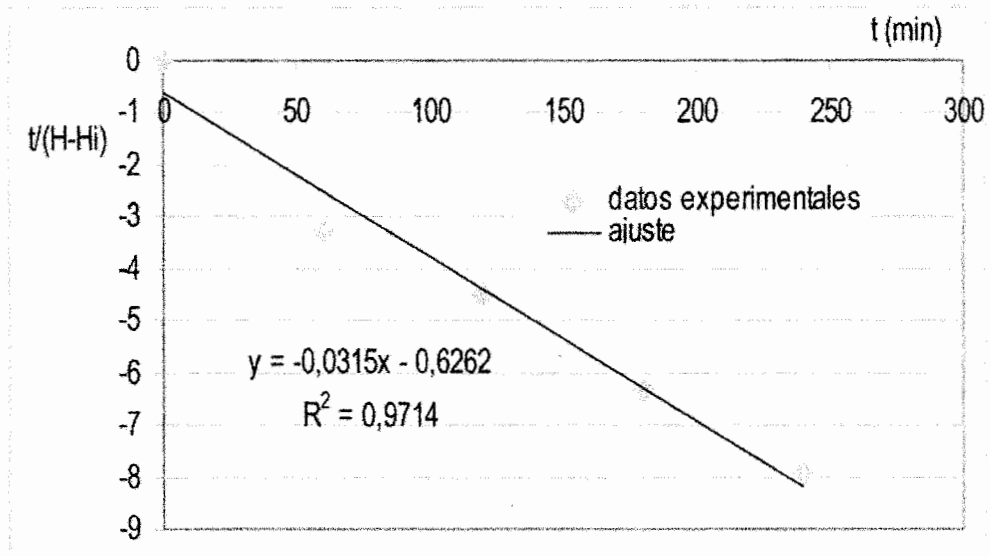


Figura 3. Ajuste de los datos experimentales al modelo de Peleg para la deshidratación osmótica de papas en solución de sacarosa al 30 % m/m y sal 10 % m/m

En la Tabla 1 se puede apreciar los valores de los parámetros k_1 y k_2 en las distintas experiencias y el coeficiente de correlación, R^2

Tabla 1. Parámetros del modelo de Peleg (k_1 y k_2) y coeficiente de correlación, R^2

% Sacarosa	% Sal	k_1	k_2	R^2
50	10	-0.2123	-0.0287	0.9889
40	10	-0.337	-0.0292	0.9883
30	10	-0.6262	-0.0315	0.9714

Empleando las ecuaciones (2) y (3) se estimaron las velocidades de transferencia y las humedades de equilibrio para las distintas concentraciones de sacarosa en la solución. En la Tabla 2 se presentan para las distintas soluciones ensayadas

Tabla 2. Velocidad de transferencia de masa y humedad de equilibrio

Solución	Velocidad de transferencia de masa	Humedad de equilibrio, H_e
Sacarosa 50% Sal 10 %	-4.71	43.36
Sacarosa 40% Sal 10 %	-2.97	44.05
Sacarosa 30% Sal 10 %	-1.59	46.55

A medida que la concentración de sacarosa aumenta, la velocidad de transferencia del agua hacia la solución incrementa, sin embargo, la humedad de equilibrio disminuye ya que egresa mayor cantidad de agua del producto.

En la Figura 4 se puede apreciar el ajuste del modelo de Peleg a la curva de humedad versus tiempo para la deshidratación de papas en solución de sacarosa al 40 % m/m y de sal al 10 % m/m

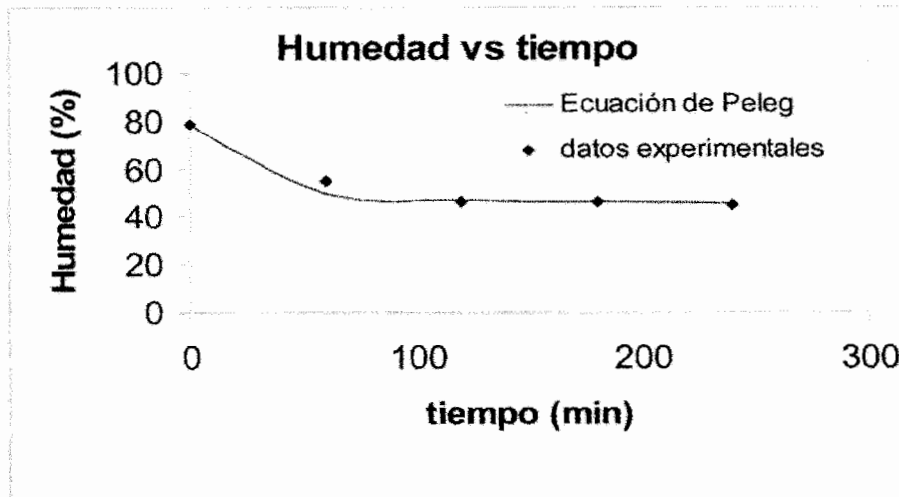


Figura 4. Curva de humedad versus tiempo. Ajuste de los datos con el modelo de Peleg para la deshidratación osmótica de papas; solución de sacarosa al 40 % m/m y de sal 10 % m/m

Modelo de Azuara

Azuara modeló la pérdida de agua en la deshidratación osmótica a partir del balance de masa del agua. La ecuación requiere el ajuste de dos parámetros.

$$\frac{t}{WL} = \frac{1}{s_1 WL_\infty} + \frac{t}{WL_\infty} \quad (8)$$

donde:

WL_∞ = Pérdida de agua a tiempo infinito

s_1 = constante de velocidad relativa a la pérdida de agua

Este modelo empírico tiene la ventaja de no requerir llegar al equilibrio para predecirlo y la desventaja de limitar su validez sólo al rango experimental para el que se obtuvieron los parámetros. También hay que tener en cuenta que el modelo no considera la forma, las dimensiones ni la estructura del material.

En las Figuras 5 a 7 se presentan los ajustes del modelo a los datos experimentales

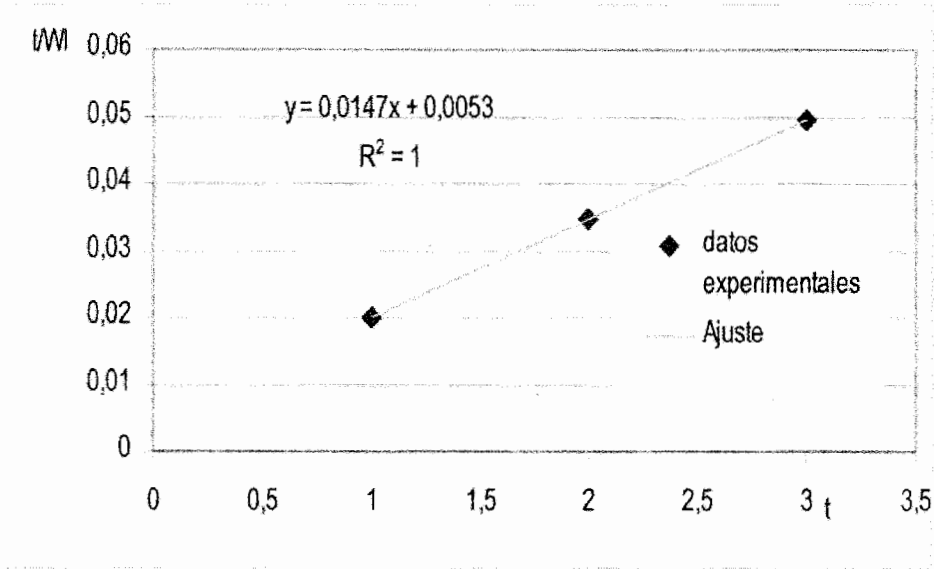


Figura 5. Ajuste del modelo de Azuara a la deshidratación de papas en solución de sacarosa al 50 % m/m y sal 10 % m/m

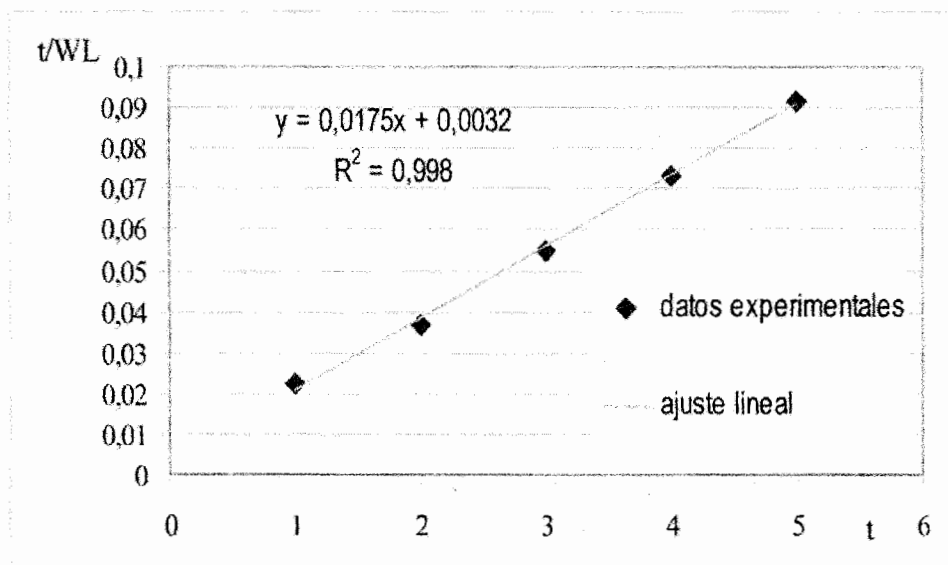


Figura 6. Ajuste del modelo de Azuara a la deshidratación de papas en solución de sacarosa al 40 % m/m y sal 10 % m/m

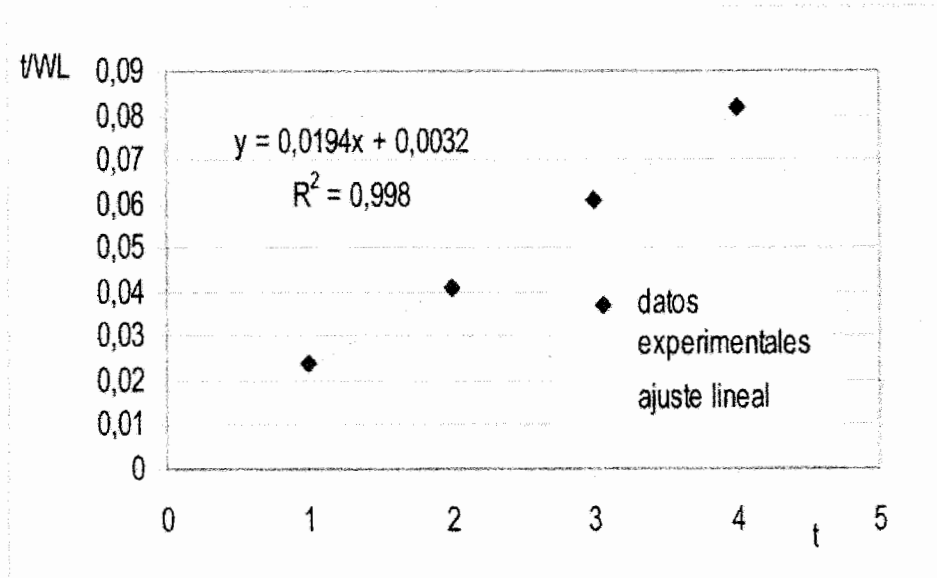


Figura 7. Ajuste del modelo de Azuara a la deshidratación de papas en solución de sacarosa al 30 % m/m y sal 10 % m/m

En la Tabla 3 se presentan los parámetros del modelo para las distintas soluciones ensayadas

Tabla 3. Parámetros del modelo de Azuara: Wl_{∞} y s_1

Solución	Wl_{∞}	s_1
Sacarosa 50 % Sal 10 %	68.03	2.77
Sacarosa 40 % Sal 10 %	57.14	5.47
Sacarosa 30 % Sal 10 %	51.55	6.06

Los datos experimentales se ajustaron satisfactoriamente tanto con el modelo de Peleg como el de Azuara.

Conclusiones

Se modeló la cinética de secado de papas por deshidratación osmótica. Los modelos empíricos de Peleg y Azuara ajustaron de manera satisfactoria los datos experimentales obtenidos en las experiencias llevadas a cabo en soluciones acuosas de distinta concentración en sacarosa (30 % m/m, 40 % m/m y 50 % m/m) e igual concentración en sal (10 %). Se pudo verificar que a medida que la concentración de sacarosa en la solución acuosa aumenta, la velocidad de transferencia del agua hacia la solución incrementa; sin embargo, la humedad de equilibrio disminuye, ya que egresa mayor cantidad de agua del producto. Los resultados obtenidos con los modelos anteriormente mencionados son válidos en las condiciones experimentales establecidas y pueden ser utilizados para el diseño y la optimización de variables de proceso.

Referencias

- Azuara, E., Beristain, C. I., y García, H. S. (1992) "Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration". *Journal of Food Science and Technology*, 29 (4), 239-242.
- Azuara, E., Beristain, C. I., y Gutiérrez, G. F. (1998) "A Method for continuous kinetic evaluation of osmotic dehydration". *Lebensmittell-Wissenschaft und-Technologie*, 31, 317-321.
- Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López Malo, A., Palou, E., y Welti-Chanes, J. (2003 a) "Impregnation of some fruits at vacuum pressure". *Journal of Food Engineering* 56, 307-314.
- Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López Malo, A., Palou, E., y Welti-Chanes, J. (2003 b) "Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration". *Journal of Food Engineering*, 57, 305-314.
- Ochoa Martínez, C. I., y Ayala Aponte, A. (2005) "Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica". *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4, (5), 330-342.
- Parjoko, K. A., Rahman, M. S., Buckle, K. A., y Perera, C. O. (1996) "Osmotic dehydration kinetics of pineapple Hedges using palm sugar". *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 29, 452-459.
- Rahman, M.S., Sablani, S.S., Al-Ibrahim, M.A. (2001) "Osmotic dehydration of potato equilibrium kinetics." *Drying Technology* 19, (6), 1163-1176.
- Sablani, S.S., Raman, 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.
- Saputra, D. (2001) "Osmotic Dehydration of pineapple". *Drying Technology*, 19 (2), 415-425.