

Efecto de la temperatura sobre la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Reynaldo J. Silva Paz ^{1,3}, Patricia A. Della Rocca ¹, Osvaldo D. Tisocco ³, Rodolfo H. Mascheroni ²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química, Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Químicas Aplicadas, IDETQA. Medrano 951, (C1179 AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

² Universidad de La Plata y CONICET La Plata, Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología, CIDCA. Calle 47 y 116, La Plata (B1900 AJJ), Buenos Aires, Argentina

³ Universidad Nacional de Entre Ríos, Facultad de Ciencias de la Alimentación. Monseñor Tavella1450, CP 3200 Concordia, Entre Ríos, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 13 de mayo de 2014, aprobado el 31 de julio de 2014

Resumen

El principal objetivo de este trabajo fue estudiar la cinética de deshidratación osmótica de papa (*Solanum Tuberosum* L.). Se comparó el ajuste de los datos experimentales con el modelo cinético fenomenológico y con el modelo de Azuara. Para ello, en cubos de 1 cm de arista se evaluó el efecto de la temperatura (30 °C, 40 °C y 50 °C) sobre los coeficientes de difusión efectiva del agua y sólidos. Se determinó la pérdida de peso de agua y la ganancia de sólidos. Las mayores pérdidas de agua se obtuvieron a la temperatura de 50 °C.

Se calcularon los parámetros cinéticos ajustándose adecuadamente a los modelos matemáticos respectivos para la pérdida de agua y la ganancia de sólidos. Asimismo, se determinó la energía de activación mediante la ecuación de Arrhenius siendo superior la energía de activación para la difusión en la ganancia de sólidos.

PALABRAS CLAVE: PAPA - DIFUSIVIDAD EFECTIVA - DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA - MODELOS CINÉTICOS.

Abstract

The main purpose for this work is to study the osmotic dehydration kinetics of potatoes (*Solanum Tuberosum* L.). Thus, a comparison of fitness for the experimental data related to the phenomenological kinetic model and Azuara's model was made. When applying to 1 cm size potatoes cubes, effect of temperature (30 °C, 40 °C and 50°C) on effective diffusivity coefficients for both water and solids was measured. Water weight loss and solids increase was determined. The highest water loss occurred at 50 °C.

The different models kinetics parameters were calculated and a good fitness to mathematical respective relationships was obtained, both for water loss and solids increments. Furthermore, activation energy when applying Arrhenius equation was calculated, being higher for the diffusivity of solids gain.

KEYWORDS: POTATO – EFFECTIVE DIFFUSIVITY – OSMOTIC DEHYDRATION - KINETIC MODELS

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo cuya producción mundial se estima en unos 309 millones de toneladas métricas (MMT) en los últimos años. Ocupa el cuarto lugar entre los cultivos alimenticios después del arroz, maíz y trigo (Carrasco et al., 1996). Se cultiva en numerosos países, con climas templados, tropicales y subtropicales; aunque es un cultivo de subsistencia. La papa y sus subproductos son significativamente importantes a nivel económico y nutricional (Sinha et al., 2011; Mujundar, 2006).

La composición química de la papa depende de muchos factores, incluyendo las características genéticas, la edad y la madurez, así como las condiciones ambientales, es decir, las condiciones climáticas y del suelo, tales como la fertilización, el uso de pesticidas y las enfermedades. El almidón es el componente básico de la materia seca de la papa, que contribuye principalmente a la cantidad de energía obtenida por su consumo. Contiene algunos polisacáridos no amiláceos, que constituyen la fibra dietética. La proteína en la papa es muy importante entre todos los nutrientes debido a su alto valor biológico. También contiene valiosos minerales, como el hierro y el magnesio, y vitaminas esenciales, como la vitamina C y varias de las vitaminas B (Mujundar y Sablani, 2006). La papa tiene menos calorías que el arroz, el queso y otros productos. El valor biológico de sus proteínas es un tanto inferior al de la carne, pero superior a la del trigo, las avenas y las verduras (Christiansen y Machuca, 1981).

La deshidratación osmótica (DO) consiste en la inmersión de un alimento sólido, entero o en piezas, en soluciones acuosas de alta concentración en solutos de azúcares y/o sales (hipertónica) a un tiempo y temperatura específicos. Las membranas de los alimentos son semipermeables por lo cual esta técnica provoca dos flujos principales simultáneos en contracorriente: de agua, de los tejidos biológicos a la solución osmótica y de solutos de la solución a los tejidos del alimento. Se da un importante flujo de agua del interior del alimento hacia el exterior, para tratar de equilibrar el potencial químico del agua a ambos lados de dichas membranas (Zapata et al., 2002). Además, existe otro flujo que consiste en una mínima pérdida de solutos propios del alimento (azúcares, sales minerales,

ácidos orgánicos y otros componentes) que son arrastrados por el agua que egresa del mismo y que aunque cuantitativamente es insignificante, puede tener alguna importancia a nivel nutricional y organoléptico. (Corzo y Centeno, 2003).

La DO es un método de conservación que reduce hasta un 80 % del agua original de los alimentos, permite obtener productos de humedad intermedia, con una buena calidad organoléptica. La solución osmótica que se usa para deshidratar el producto debe ser rica en solutos que depriman la actividad de agua del mismo, y que generen una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la solución. Los solutos que normalmente se utilizan en las soluciones osmóticas, son de bajo costo, tales como la sacarosa, glucosa, fructuosa, cloruro de sodio, glicerol, sorbitol y combinaciones de éstos, presentando así un efecto sinérgico, como es el caso de la mezclas sacarosa-cloruro de sodio (Lerici, 1985). Generalmente, las soluciones de sacarosa son usadas para frutas y las soluciones de cloruro de sodio para vegetales (Ade Omowaye, 2002).

Existen estudios acerca de las principales variables que producen efecto sobre la deshidratación osmótica. Entre ellas se destacan las propiedades intrínsecas del producto como composición, tamaño, forma, presencia de piel, pretratamientos previos (Barat, Chiralt y Fito, 2001), y las de la solución osmótica como temperatura, concentración, naturaleza del agente osmótico, presión de trabajo, relación alimento - solución, tiempo y nivel de agitación (Gaspareto, Oliverira y Magalhaes, 2004; Lerici, 1985; Della Rocca y Mascheroni, 2009). El objetivo de este trabajo fue estudiar y modelar la cinética del proceso de deshidratación osmótica de cubos de papa y evaluar el efecto de la temperatura sobre la cinética de transferencia de masa (agua y solutos).

Materiales y métodos

Materia prima

Los tubérculos de papa se adquirieron en la cadena de supermercados COTO - Local Abasto de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Se seleccionaron utilizando las mismas condiciones de maduración, tamaño y firmeza, y se conservaron a 5 ± 2 °C hasta su procesamiento. Posteriormente, se lavaron y pelaron ma-

nualmente. Inmediatamente después se seccionaron con papel tissue y se cortaron en cubos de $1 \pm 0,1$ cm de arista.

Deshidratación osmótica

Se prepararon soluciones osmóticas con una mezcla de sacarosa (40 %) - cloruro de sodio (5 %) en la solución acuosa. Las temperaturas de trabajo fueron 30 °C, 40 °C y 50 °C. Se empleó una proporción masa/solución de 1:4 y un nivel de agitación de 120 ± 5 rpm por un tiempo de 10 horas. Los recipientes, que contenían la solución osmótica, ingresaron a la cámara orbital para controlar y mantener constante la temperatura de la solución y del ensayo. Los cubos de papa fueron sumergidos en los recipientes (vasos de precipitado de 2000 mL). Para el estudio de la variación de masa, las muestras identificadas fueron pesadas cada cierto intervalo de tiempo: 0, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360, 420 y 480 min. Los ensayos se realizaron por triplicado.

Determinaciones analíticas

Peso y humedad

Las muestras fueron pesadas en una balanza analítica (Marca OHAUS-CLSERIES 201) de precisión 0,01 g, registrando el peso a cada intervalo de tiempo. El contenido de humedad de las muestras para cada tiempo se estableció, por el método gravimétrico de la A.O.A.C., (1996). Se extrajeron las muestras en los tiempos mencionados y las experiencias se hicieron en triplicado.

Transferencia de materia

La evolución de la transferencia de masa con el tiempo se midió a través de la pérdida de peso (WR); contenido de sólidos totales (TS); pérdida de agua (WL); ganancia de sólidos (GS), en cada tiempo.

$$H(\%) = 100 - TS(\%) \quad (1)$$

$$WR(\%) = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$TS(\%) = \left(\frac{m_s}{m_o} \right) \times 100 \quad (3)$$

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

$$GS(\%) = \left[\left(1 - \frac{WR}{100} \right) \frac{TS}{100} - \frac{TS^0}{100} \right] \times 100 \quad (5)$$

Donde, m_i : masa inicial de muestra de papa fresca; m_f : masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo t ; m_s : masa de muestra seca; m_o : masa de muestra fresca, H (%): porcentaje de humedad; TS^0 y TS : contenido de sólidos totales iniciales y en el tiempo, respectivamente.

Modelado matemático

Para el modelado de la pérdida de humedad y la ganancia de sólidos en el tiempo de inmersión en la solución osmótica, se aplicó el modelo de Biswal y Bozorgmehr; el cual puede ser modificado en las ecuaciones 6 y 7 – Biswal y Bozorgmehr modificado (Ochoa y Ayala, 2005; Vega Gálvez, 2007).

$$\Delta M_{WL} = K_{WL} t^{0.5} \quad (6)$$

$$\Delta M_{GS} = K_{GS} t^{0.5} \quad (7)$$

Donde, ΔM_{WL} : pérdida de agua en el tiempo, ΔM_{GS} : ganancia de sólidos en el tiempo; K_{WL} y K_{GS} : constantes de cinéticas fenomenológicas y t : tiempo.

Los valores de difusividad efectiva (D_e) de agua y de sólidos, fueron obtenidos ajustándolos al modelo matemático establecido por Azuara, Beristain y García (1992), utilizando las siguientes ecuaciones 8 y 9.

$$WL_t = \frac{S_1 * t * WL_{\infty}}{1 + S_1 * t} \quad (8)$$

$$GS_t = \frac{S_2 * t * GS_{\infty}}{1 + S_2 * t} \quad (9)$$

Donde, WL_t , GS_t y WL_{∞} , GS_{∞} : pérdida de agua y ganancia de sólidos en un tiempo t y en el equilibrio, (a tiempo infinito), respectivamente; S_1 y S_2 : constantes de velocidad relativas a la pérdida de agua y a la ganancia de sólidos, respectivamente. Linealizando las ecuaciones 8 y 9, se obtienen los parámetros S_1 , S_2 y WL_{∞} , GS_{∞} .

Además, relacionando el modelo con la solu-

ción simplificada de la ley de Fick, se puede calcular el coeficiente de difusión efectiva (D_e) para la pérdida de agua como se muestra en la ecuación 10 (Azuara, Beristain y Garcia, 1992).

$$D_e = \frac{\pi t}{4} \left[\left(\frac{S_n * L}{1 + S_n * t} \right) \left(\frac{WL_{\infty}^{mod}}{WL_{\infty}^{exp}} \right) \right]^2 \quad (10)$$

En la ecuación 10, WL_{∞}^{mod} y WL_{∞}^{exp} corresponden a la pérdida de agua en el equilibrio modelada y experimental. Debido a que se trata de cubos y no de láminas semi-infinitas como en el trabajo original de Azuara, Beristain y García, (1992), L corresponde a la tercera parte del espesor del cubo (Rastogi y Niranján, 2004). A partir de este valor se calculó la difusividad para la pérdida de agua y la ganancia de sólidos.

Para determinar la dependencia de la difusividad efectiva con la temperatura, se utilizó la ecuación de Arrhenius (ecuación 11) (Silmal, 2000 y Vega Galvez et al., 2007).

$$D_e = D_o * exp^{-\frac{E_a}{R*T}} \quad (11)$$

Donde, D_e : difusión efectiva, D_o : constante difusional, E_a : energía de activación, R : constante de los gases, T : temperatura absoluta.

Se calculó la media y la desviación estándar de los datos y el ajuste de los valores experimentales se analizaron a través del coeficiente de correlación (r^2).

Resultado y discusiones

Deshidratación osmótica

En la Fig. 1 se presentan los resultados obtenidos para las pérdidas de peso experimentadas por los cubos de papa a distintas temperaturas sumergidos en solución de sacarosa al 40 % m/m y cloruro de sodio 5 % m/m, la relación masa de producto-masa de solución es de 1:4. La pérdida de peso se incrementa con el tiempo y es mayor cuando aumenta la temperatura. En las primeras horas se observa una notable velocidad de pérdida, particularmente a 40 °C y 50 °C. Esta velocidad se reduce a partir de la 2 a 3 h de proceso, similares resultado presentaron Della Rocca y Mascheroni (2010).

La pérdida de peso sigue una cinética similar a la pérdida de agua, aumentando con el tiempo y siendo mayor con el incremento de la temperatura, tendiendo al equilibrio a partir de la 2 h de proceso, tal como se muestra en la Fig. 2. Este comportamiento concuerda con los resultados obtenidos por Azuara, García y Beristain (1996); Eren y Kaymal Ertekin (2007), y Della Rocca y Mascheroni (2009).

En relación a la ganancia de sólidos (Fig. 3), en las primeras horas se observa una tendencia a ganar sólidos a las distintas temperaturas utilizadas. Esto es más notorio a 50° C, probablemente debido a que a mayor temperatura se aumenta la acción de los mecanismos hidro-

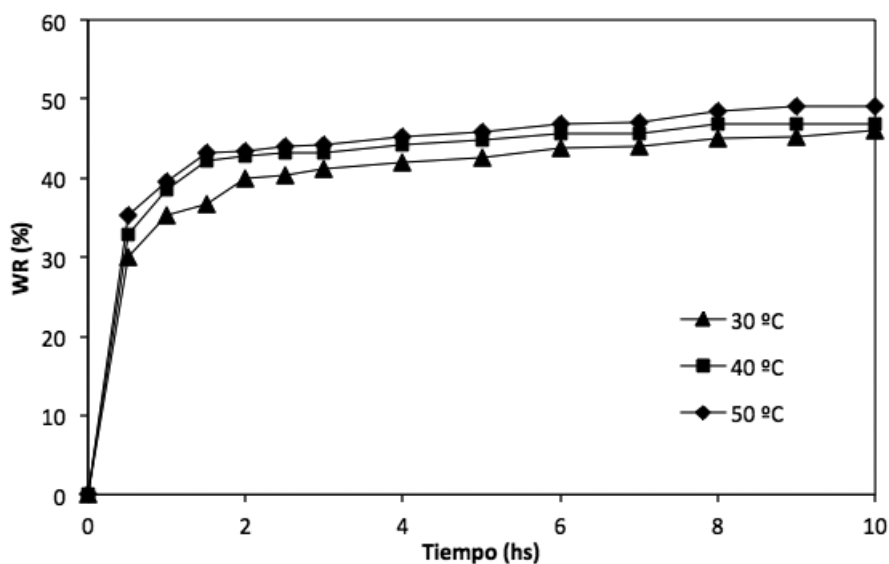


Fig. 1. Pérdida de peso a diferentes temperaturas durante la deshidratación osmótica

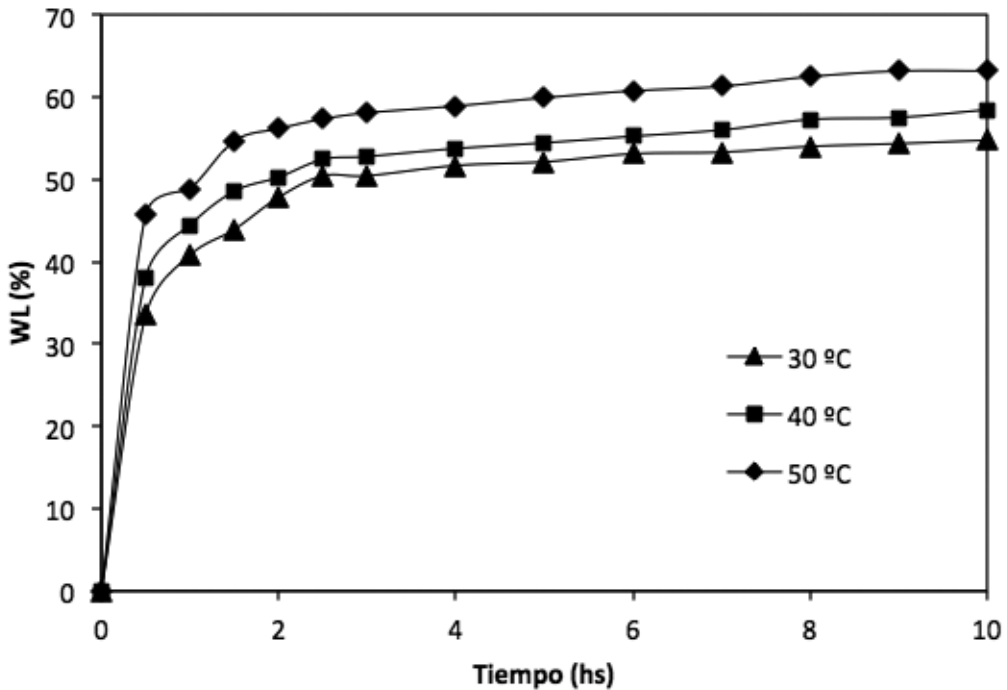


Fig. 2. Pérdida de agua a diferentes temperaturas durante la deshidratación osmótica

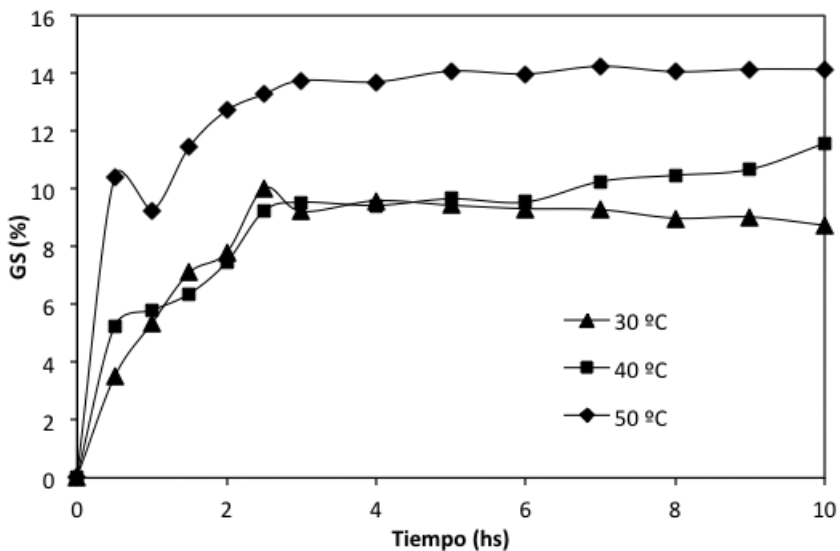


Fig. 3. Ganancia de sólidos a diferentes temperaturas durante la deshidratación osmótica

dinámicos lo que provoca la ganancia inicial de sólidos de la solución osmótica (Giraldo, 2003). Sin embargo, después de 2 a 3h de deshidratación osmótica, se aprecia en todas las curvas, una tendencia a ganar sólidos levemente gradual, a medida que se tiende al equilibrio, aunque todavía se está lejos de alcanzarlo.

temperaturas superiores la ganancia de sólidos, la pérdida de peso y de agua se incrementan. Este mismo comportamiento lo observaron Salvatori y Alzamora (2000); Vega Galvez et al. (2007), y Maldonado et al. (2008), los cuales deshidrataron diversos frutihortícolas.

Modelo matemático

En general, tanto para la pérdida de peso, agua y ganancia de sólidos, la temperatura tiene una marcada influencia, debido a que a

Cinética Fenomenológica – Modelo de Biswal y Bozorgmehr modificado.

De acuerdo a los valores obtenidos en la Tabla 1, se observa que la temperatura influye en la cinética de pérdida de agua y de ganancia de sólidos, ya que con el incremento de la temperatura, el valor absoluto promedio de estos parámetros cinéticos aumenta.

Temperatura	K_w	K_s
30 °C	22,397 ±0,08	3,819 ±0,13
40 °C	23,664 ±0,29	4,495 ±0,14
50 °C	26,003 ±0,19	5,902 ±0,18

Tabla 1. Valores de los parámetros cinéticos para el agua (K_w) y los sólidos (K_s) a diferentes temperaturas (Modelo de Biswal y Bozorgmehr modificado.)

Modelo de Azuara – Coeficiente de difusión

En la Tabla 2 se presentan los parámetros de ajuste del modelo de Azuara, tanto para la pér-

didada de agua como para la ganancia de sólidos, obtenidos para las diferentes temperaturas. Los coeficientes de correlación indican un ajuste satisfactorio entre los datos experimentales y el modelo de Azuara. Los valores de difusividad obtenidos son del orden de magnitud que los reportados por Lenard y Flink (1984), y Mauro y Menegalli (2003), en láminas de papa.

Por otra parte, se observa que los valores de pérdida de agua a tiempo infinito para el modelo de Azuara varían en un 12,5% entre el valor superior e inferior y en el caso del coeficiente de difusión en un 4,9 %. Para en el caso de la difusividad efectiva de los sólidos estas variaciones son mayores, su influencia no es del todo clara, esto podría ser originado por la formación de una capa de azúcar superficial, que dificultaría la difusión en ambos sentidos, también a los cambios en las propiedades físicas del alimento, tales como la permeabilidad de la célula y la porosidad (Rastogi y Raghavarao, 2004). Asimismo, los valores de difusividad son similares a los encontrados en la literatura (Della Rocca y Mascheroni (2009); Vega et al.

Temperatura	WL^∞ (%)	$WL^{ex}(\%)$	s_1 (min) ⁻¹	D_{ew} (m ² /s)	R^2
30 °C	55,8659218	54,7437736	4,62857143	1,22457E-09	0,9991
40 °C	59,1715976	58,4485026	3,31372549	1,18517E-09	0,9987
50 °C	64,1025641	63,1464901	2,3164557	1,16216E-09	0,9991
Temperatura	$GS^\infty(\%)$	$GS^{ex}(\%)$	s_2 (min) ⁻¹	D_{es} (m ² /s)	R^2
30 °C	9,38967136	8,74377358	3,62244898	1,34022E-09	0,9898
40 °C	11,682243	11,5744233	1,21590909	1,0674E-09	0,9861
50 °C	14,5560408	14,1437736	3,90340909	1,23569E-09	0,9984

Tabla 2. Valores de los parámetros de Azuara y de difusividad efectiva del agua (D_{ew}) y difusividad efectiva de sólidos (D_{es}) sometido a diferentes temperaturas.

K_w		K_s	
E_a (kJ/mol)	$K_{o,w}$ (m ² /s)	E_a (kJ/mol)	$K_{o,s}$ (m ² /s)
87,587	24,5186	255,47	4,148
D_{ew}		D_{es}	
E_a (kJ/mol)	$D_{o,w}$ (m ² /s)	E_a (kJ/mol)	$D_{o,s}$ (m ² /s)
30,859	5,103E-10	50,12	3,189E-10

Tabla 3. Valores de energía de activación, parámetros cinéticos K_w y K_s , y difusividades D_{ew} y D_{es} para el agua y los sólidos respectivamente

(2007); Eren y Kaymak Ertekin (2006); Mauro y Menegalli (2003) y Lenard y Flink (1984)).

Energía de Activación – Modelo de Arrhenius

Los valores de energía de activación (E_a) y su respectivo parámetro cinético para el modelo de Biswal y Bozorgmehr modificado y la difusividad efectiva para el modelo fenomenológico para la transferencia de agua y de sólidos solubles calculados mediante la ecuación de Arrhenius, se presentan en la Tabla 3. Se puede apreciar que es menor la energía de activación para la cinética fenomenológica que la calculada con el modelo de Biswal y Bozorgmehr modificado, tanto para la transferencia de agua como para la de sólidos. Estos valores son similares a los reportados por Vega et al. (2007), que deshidrató papaya chilena.

Conclusiones

La mayor velocidad de pérdida de agua y ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de papa se obtuvo durante las primeras horas de proceso (2-3 h) luego, la velocidad disminuye al tender al equilibrio. Los datos experimentales se ajustan satisfactoriamente al modelo de Biswal y Bozorgmehr modificado, como también al modelo de Azuara, tanto para el agua como para los sólidos. Los valores de energía de activación son superiores para los sólidos que para el agua, en concordancia con la mayor complejidad del proceso de difusión de los sólidos respecto del agua.

A temperaturas superiores se obtiene una mayor pérdida de peso, agua y ganancia de sólidos durante el proceso de deshidratación osmótica.

Referencias

- ADE OMOWAYE, B. et al. 2002. Osmotic Dehydration Behavior of Red Paprika (*Capsicum Annum L.*). *Journal of Food Science*, v. 67, n. 5, p. 1790-1796.
- A.O.A.C. 1996. "Official Method of Analysis", Association of Official Analytical Chemists (nº 934.06). Arlington, USA.
- AZUARA, E.; BERISTAIN, C. y GARCÍA, H. S. 1992. Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 29 p. 239-242.
- AZUARA, E.; GARCÍA, H. S. Y BERISTAIN, C. 1996. Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. *Food Research International*, v. 29 n.2. p. 195-199.
- CORZO, O.; CENTENO, A. E. 2003. Superficies de respuesta de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica del melón (*Cucumis melo*, variedad Edisto). *Revista de la Facultad de Farmacia*, v. 45, n. 1, p. 54-60.
- BARAT, J. M.; CHIRALT, A.; FITO, P. 2001. Effect of Osmotic Solution Concentration, Temperature and Vacuum Impregnation Pretreatment on Osmotic Dehydration Kinetics of Apple Slices. *Food Science Technology*, v. 7, n. 5, p. 451-456.
- CARRASCO, E.; TERRAZAS, F.; CALDERÓN, R. y THIELE, G. Los tubérculos andinos: tesoro de los Andes. Alimentos del mundo andino: ciclo de conferencias sobre alimentos, abril de 1996, Cochabamba, Bolivia.
- CHRISTIANSEN, J. y MACHUCA, R. 1981. La papa; su utilización. Guatemala, I.C.T.A. 50 p.
- DELLA ROCCA, P. y MASCHERONI, R. 2009. Deshidratación osmótica de papas. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas – CLICAP, Universidad Nacional de Cuyo (UNCu) - San Rafael.
- DELLA ROCCA, P. y MASCHERONI, R. 2010. Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente. *Revista de Proyecciones*, 8:(2), UTN –FRBA. Buenos Aires, República Argentina.
- EREN, I. y KAYMAK ERTEKIN, F. 2007. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journals Of Food Engineering*, v. 79 p. 344-352.
- GASPARETO, O.; OLIVEIRA, E. y MAGALHAES. 2004. Influencia del tratamiento osmótico en el secado de la banana "Nanica" (*Musa cavendishii*, L.) en secador de lecho fijo. *Información Tecnológica*, v. 15, n. 6, p. 9-15.
- GIRALDO, G. et al. 2003. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, v. 58, n. 1, p. 33-43.
- LERICI, C. L. et al. 1985. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*, v. 50, n. 1, p. 1217-1219.
- LENARD, A y FLINK, J. 1984. Osmotic Concentration of Potato. I. Criteria for the End – point of the Osmosis Process. En: *Journal of Food Technology*. 19 ; p.45 – 63.
- OCHOA, C. I. y AYALA, A. 2005. Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, v. 4, n. 5, p. 330-342.
- RASTOGI, N. K. y RAGHAVARAO, K. S. M. S. 2004. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. *Food Science and Technology*, v. 37, n. 1, p. 43-47.
- SIMAL, S. et al. 2000. Dehydration of aloe vera: simulation of drying curves and evaluation of functional properties. *Journal of Food Engineering*, v. 43, n. 2, p. 109-114.
- SINHA, N.; HUI, Y.H.; EVRANUZ, E.; SIDDIQ, M. y AHMED, J. 2011. *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. Ed. Wiley-BlackWell.
- SALVATORI, D. y ALZAMORA, S.M. 2000. Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples as affected by blanching and process variables. *Drying Technology*, v. 28p. 361-381.
- MAURO, M. y MENEGALLI, F. 2002. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients in potato tissue during osmotic concentration. *Journals Of Food Engineering*, v. 57, p. 367-374.
- MALDONADO, S.; SANTAPAOLA, J. E.; SINGH, J.; TORREZ, M. y GARAY, A. 2008. Cinética de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, v. 28, n. 1, p. 330-342.
- MUJUMDAR, S. 2006. *Handbook of Industrial Drying*. 3er Ed. Taylor & Francis Group, LLC. New York.
- VEGA GALVEZ, A.; PALACIOS, M.; BOGLIO, F.; PASSARO, C.; JEREZ, C. y LEMUS MONDACA, R. 2007. Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, Campinas, v.27 n. 3, p. 470-477.
- ZAPATA, J.; CARVAJAL, L. y OSPINA, N. 2002. Efectos de la concentración de solutos y la relación jarabe/fruta sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas. *Interciencia*, v. 27, n. 5, p. 1-14.