

Modelado de la transferencia de masa durante el proceso de deshidratación osmótica de peras con soluciones de sacarosa y sorbitol

Modeling of mass transfer during osmotic dehydration process of pears in solutions of sucrose and sorbitol

Ferrari CC (1), Arballo JR (2, 3), Mascheroni RH (2, 3)

(1) Departamento de Engenharia de Alimentos, FEA, UNICAMP, Campinas, SP, Brasil.

(2) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata, Argentina.

(3) CIDCA (CONICET La Plata y Universidad Nacional de La Plata)

jrballo@cidca.org.ar

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo estudiar la transferencia de masa y cinética de deshidratación osmótica de trozos de pera en soluciones de sacarosa y/o sorbitol. Medias rodajas de peras variedad Packham's, de 10 mm de espesor fueron inmersas en soluciones hipertónicas de sacarosa o sorbitol en concentraciones de 40 y 60°Brix. Soluciones conteniendo los dos azúcares también fueron utilizadas con la intención de validar el efecto de los solutos en los parámetros de proceso. Las concentraciones fueron las siguientes: 40% de sacarosa + 20% de sorbitol, 30% sacarosa + 30% sorbitol y 20% sacarosa + 40% sorbitol. El proceso fue conducido por 24 h con temperatura controlada (30°C) y agitación de 90 ciclos/min. La pérdida de agua y de peso y la incorporación de sólidos en la fruta fueron analizadas a lo largo del proceso en función del tipo y concentración de la solución. Para todos los ensayos, la pérdida de agua y peso aumentaron significativamente con la elevación de la concentración de la solución deshidratante, en tanto que los ensayos con sorbitol promovieron una mayor tasa de salida de agua de la fruta y mayor ganancia de sólidos, debido al menor peso molecular del sorbitol en relación a la sacarosa. En los tratamientos realizados con los dos solutos, la proporción sacarosa:sorbitol en la solución influyó directamente en los resultados, verificándose un mayor efecto del sorbitol tanto en la pérdida de agua como en la incorporación de azúcares. Se utilizó la solución analítica para difusión con propiedades constantes para obtener los coeficientes efectivos de difusión del agua y los solutos en las distintas condiciones de proceso.

ABSTRACT

The objective of this work was to study mass transfer and osmotic dehydration kinetics of pear pieces in solutions of sucrose or sorbitol. Half slices of pears of the variety Packham's Triumph were immersed in hypertonic aqueous solutions of sucrose or sorbitol with concentrations of 40 or 60°Brix. Solutions containing both sugars were also used in the attempt to validate the effect of solutes on process parameters. Compositions used were: 40% sucrose + 20% sorbitol, 30% sucrose + 30% sorbitol and 20% sucrose + 40% sorbitol. The process was run during 24 h at constant temperature (30°C) and agitation (90 cycles/min). Weight and water loss and solids gain were analyzed along process time as a function of solution composition and concentration. For all runs weight and water loss increased significantly with solution concentration. Sorbitol induced a higher water loss and solid gain due to its lower molecular weight respect to sucrose. In the tests using mixtures of solutes the ratio sorbitol:sucrose influenced directly on results: the higher ratios determined and increase in water loss and solids gain. The analytical solution for a system with diffusion in a liquid medium, with constant properties was used to obtain the effective diffusion coefficients of water and solutes for the different process conditions.

PALABRAS CLAVE: *deshidratación osmótica, peras, sacarosa, sorbitol.*

KEYWORDS: *osmotic dehydration, pears, sucrose, sorbitol.*

INTRODUCCIÓN

La deshidratación osmótica es una técnica ampliamente utilizada para la extracción parcial de agua de frutas y vegetales, en la cual el alimento está en contacto con una solución de baja actividad de agua (generalmente soluciones concentradas de azúcares y/o sales o alcoholes), y donde se establecen dos mecanismos simultáneos de transferencia de masa debido a la diferencia de potencial químico acuoso entre la solución y el alimento: 1) transferencia de agua desde el producto a la solución, acompañada, frecuentemente, por sustancias naturales (azúcares, vitaminas, pigmentos, componentes del sabor); y 2) en el sentido opuesto, el soluto se transfiere de la solución al alimento. Como consecuencia de este intercambio el producto pierde peso y se contrae y sufre cambios en sus propiedades físicas (Spiazzi y Mascheroni 1997; Agnelli, *et al.* 2005). Los alimentos osmo-deshidratados no son estables y necesitan una segunda etapa de procesamiento, comúnmente congelado o secado por aire o microondas para alcanzar la estabilidad requerida. Los productos finales son de alta calidad sensorial y nutricional y más estables contra la contaminación microbiológica y el deterioro químico (Torregiani y Bertolo 2001). La sacarosa ha sido extensamente usada como agente osmótico, mientras el sorbitol – un polihidroxicohol obtenido de la glucosa usando oxidación catalítica -, está siendo analizado debido a su uso como agente humidificante y endulzante en productos “light”. Las condiciones del proceso osmótico (temperatura, tipo de soluto, concentración, tiempo de contacto) determinan las propiedades (textura, color, sabor) del alimento parcialmente deshidratado y evidentemente influyen en las del producto final, por lo tanto es importante caracterizar las variaciones de los índices de transferencia de masa y calidad durante la deshidratación osmótica.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material

Fueron utilizadas peras de la variedad Packham’s Triumph compradas en La Plata – Argentina, usando como criterio de selección: nivel de maduración, intensidad del color de la cáscara y sólidos solubles (12 - 14°Brix), mismo tamaño y forma, a fin de obtener muestras relativamente homogéneas.

Los agentes deshidratantes fueron: sacarosa comercial (Ledema – Buenos Aires - Argentina) y sorbitol (NEOSORB® P 60W – Roquette - Lestrem – Francia).

Métodos

Preparación de la Materia Prima

Los frutos seleccionados fueron lavados en agua corriente para la remoción de las suciedades más groseras. Posteriormente, fueron pelados manualmente, cortados en medias rodajas de 1 cm, utilizando cuchillos de acero inoxidable.

Deshidratación Osmótica

Las muestras fueron pesadas y luego colocadas en frascos de 2000 ml con la solución deshidratante previamente calentada a temperatura de 30°C. Las concentraciones de sacarosa y/o sorbitol están especificadas en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Condiciones de proceso.

Ensayo	Azúcar	Concentración (°Brix)
SAC40	Sacarosa	40
SAC60	Sacarosa	60
SOR40	Sorbitol	40
SOR60	Sorbitol	60
SAC20SOR40	Sacarosa/Sorbitol	20/40
SAC30SOR30	Sacarosa/Sorbitol	30/30
SAC40SOR20	Sacarosa/Sorbitol	40/20

La relación muestra:solución utilizada fue 1:10 (p/p), para garantizar la concentración de solución constante durante todo el proceso. Los ensayos de deshidratación osmótica fueron conducidos en un

shaker termostático, marca FERCA, modelo TT400 con agitación (90 ciclos/min), por 24 h con retirada de muestras en los tiempos de 1, 2, 4, 12 y 24 h de proceso.

Después del proceso, las muestras fueron drenadas, enjuagadas con agua destilada, colocadas sobre papel absorbente para la remoción de la solución en exceso y pesadas nuevamente para la determinación de la pérdida de peso en relación a la masa inicial del producto, evaluada a través de la ecuación:

$$PP(\%) = 100 \cdot \left[1 - \frac{m_f}{m_0} \right] \quad (1)$$

siendo:

PP = pérdida de peso del producto deshidratado (%);

m_0 = masa inicial do producto (g);

m_f = masa final do producto (g).

La pérdida de agua en términos porcentuales fue calculada por la ecuación:

$$PA(\%) = 100 \cdot \left[\frac{m_{w0} - m_{wf}}{m_{w0}} \right] \quad (2)$$

siendo:

PA = pérdida de agua del producto deshidratado (%);

m_{w0} = masa inicial de agua en la muestra (g);

m_{wf} = masa final de agua en la muestra (g).

La ganancia de sólidos, o incorporación de azúcares, fue calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$GS(\%) = 100 \cdot \left[\frac{m_{sf} - m_{s0}}{m_{s0}} \right] \quad (3)$$

siendo:

GS = incorporación de azúcares del producto deshidratado (%);

m_{s0} = masa inicial de sólidos en la muestra (g);

m_{sf} = masa final de sólidos en la muestra (g).

Determinación de la masa de la muestra

La masa fue medida en balanza semi-analítica, para la verificación de la pérdida de peso durante el proceso.

Determinación de humedad

Fue realizada utilizando estufa de vacío a 70°C (A.O.A.C. 2002).

Determinación de los sólidos solubles

Fue realizada utilizando un refractómetro de mesada Zeiss - Jena, Germany.

Determinación de las propiedades mecánicas

La determinación de las propiedades mecánicas fue realizada a través de la evaluación de la tensión de ruptura, del tiempo de relajación y de la tensión residual de la muestra, con el auxilio del texturómetro Universal Testing Machine, modelo TATX2i, marca Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra (Costell *et al.* 1997).

La tensión a la ruptura fue determinada a través de un ensayo de compresión uniaxial a altas deformaciones de la muestra, utilizando una placa cilíndrica de acrílico lubricada de 60mm de diámetro, a una velocidad de compresión de 1 mm/s y 80% de deformación de la muestra. Los datos de la fuerza y altura proveídos por el equipamiento fueron convertidos a tensión de Hencky (σ_H) y deformación (ϵ_H), considerando el producto incompresible, de acuerdo con las ecuaciones 4 a la 6. La tensión máxima a la ruptura fue calculada por el valor del pico de la curva tensión-deformación.

$$\sigma_H = \frac{F(t)}{A(t)} \quad (4) \quad \varepsilon_H = -\ln\left(\frac{H(t)}{H_0}\right) \quad (5)$$

donde:

σ_H = tensión de Hencky (Pa);

ε_H = deformación;

F(t) = fuerza (N) en función del tiempo t (s).

$$A(t) = \frac{A_0 H_0}{H(t)} \quad (6)$$

donde:

A(t) = área (m²) en función del tiempo (s);

A₀ = área inicial de la muestra (m²);

H₀ = altura inicial de la muestra (m);

H(t) = altura de la muestra (m) en función del tiempo (s).

Análisis Estadístico

Los resultados fueron evaluados estadísticamente a través del Análisis de Varianza, aplicando el Test de Duncan al nivel de 5% de significancia, con la ayuda del programa STATISTICA[®] 5.0.

Modelado del Proceso

La transferencia de masa fue modelada usando la solución analítica de Crank 1975, que resuelve las ecuaciones de difusión planteadas por Fick en su segunda ley.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D_{ef} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (7)$$

La cual se aplica asumiendo las siguientes consideraciones: la transferencia de masa es unidireccional, concentración de la solución constante en el tiempo, las concentraciones en el equilibrio deben ser determinadas experimentalmente, solo se considera el mecanismo difusional de eliminación de agua, no se considera la interacción entre flujos, se desprecia el encogimiento y la resistencia externa a la transferencia de masa.

La solución de Crank para láminas planas semi-infinitas se presenta a continuación:

$$\frac{(w_t - w_\infty)}{(w_i - w_\infty)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \cdot \pi^2} \cdot \exp\left(- (2n+1)^2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D_{ef}}{4 \cdot l^2} t\right) \quad (8)$$

El modelo se puede simplificar usando únicamente el primer término de la serie de la ecuación (8), aunque es menos riguroso matemáticamente, para tiempos largos se obtiene:

$$\frac{(w_t - w_\infty)}{(w_i - w_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp\left(- \frac{\pi^2 \cdot D_{ef}}{4 \cdot l^2} t\right) \quad (9)$$

Aplicando logaritmo natural a ambos lados de la ecuación, tenemos:

$$\left(\ln \frac{(w_t - w_\infty)}{(w_i - w_\infty)} \right) = \left(\ln \frac{8}{\pi^2} \right) + \left(- \frac{\pi^2 \cdot D_{ef}}{4 \cdot l^2} \right) \cdot t \quad (10)$$

Regresionando obtenemos fácilmente los coeficientes efectivos de difusión para el agua y los sólidos (Def_w y Def_s). La secuencia de cálculo para obtener los *coeficientes de difusión* para el agua y para el azúcar se llevó a cabo a través de un algoritmo de cálculo programado en *Matlab 6.5* donde se aplicó la función REGRESS para obtener los coeficientes *a* y *b* de la recta de ajuste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de Peso, Pérdida de Agua y Ganancia de Sólidos

De acuerdo con la **Figura 1**, se verificó una mayor velocidad de pérdida de agua en las cuatro primeras horas de proceso en comparación con la pérdida de agua alcanzada en 24 h de deshidratación, principalmente en los ensayos realizados con sorbitol, consecuencia de la mayor fuerza osmótica de deshidratación existente entre el alimento y la solución hipertónica en el inicio del proceso. Además de eso, en todos los ensayos, fue observada una tendencia a la estabilización después de 24 h de proceso, probablemente debido a la aproximación al equilibrio.

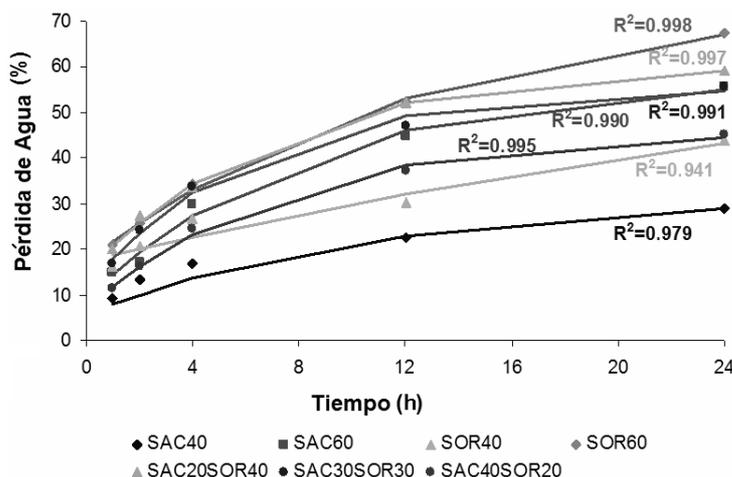


Figura 1. Cinética de Pérdida de Agua durante 24 h de proceso para las 7 condiciones estudiadas.

El aumento de la concentración de la solución osmótica favoreció la pérdida de agua en el producto por el mayor gradiente de presión osmótica en la interfase producto/solución, proporcionando una mayor tasa de transferencia de masa. Comportamiento semejante fue reportado por Rastogi y Raghavarao 2004 y Talens *et al.* 2002 en trabajos similares, donde los autores afirman que mayores tasas de pérdida de agua son obtenidas con la combinación de alta temperatura y concentración de la solución hipertónica. Los datos de pérdida de peso (**Figura 2**) se presentaron similares a los resultados de la pérdida de agua, o sea, una mayor reducción en la pérdida de peso fue observada en las muestras procesadas con soluciones más concentradas de azúcares.

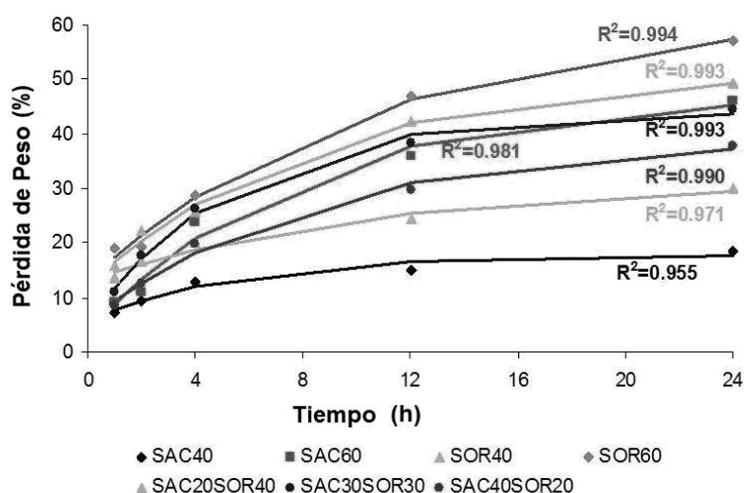


Figura 2. Cinética de Pérdida de Peso durante 24 h de proceso para las 7 condiciones estudiadas.

Con relación a la ganancia de sólidos (**Figura 3**), se notó una disminución de la incorporación de solutos con el aumento de la concentración de azúcar. Esta ocurrencia ya fue comprobada por diversos investigadores, tales como Torres *et al.* 2006 y Talens *et al.* 2002 en sus trabajos con mangas y kiwis,

respectivamente, y está relacionada con el hecho de que soluciones más concentradas limitan la entrada de sólidos en el producto por la formación de una capa superficial de azúcar alrededor de la fruta. Además de eso, el aumento de la viscosidad de la solución a 60°Brix representa una barrera para la transferencia de masa de la solución a la fruta.

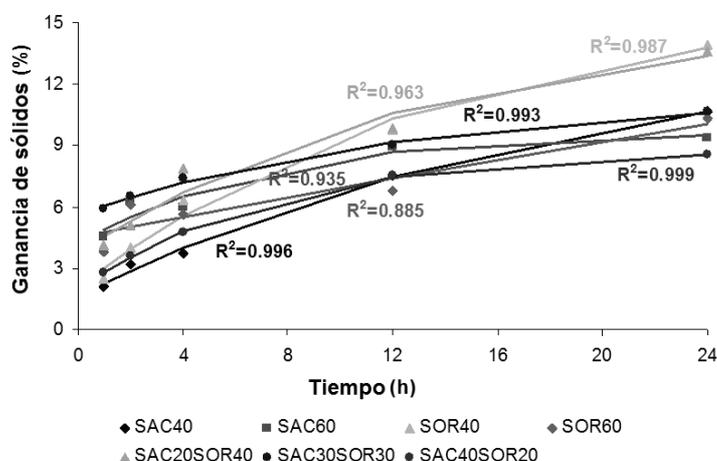


Figura 3. Cinética de Ganancia de Sólidos durante 24 h de proceso para las 7 condiciones estudiadas.

Las muestras procesadas con soluciones de sorbitol presentan una ganancia de sólidos más elevada a lo largo del proceso, lo que está relacionado con el menor peso molecular del sorbitol, penetrando más rápidamente en las frutas en comparación con la sacarosa. En los ensayos realizados con la mezcla de sacarosa y sorbitol, se observó una mayor pérdida de agua y ganancia de sólidos en los tratamientos con mayor proporción de sorbitol en la solución, indicando el mayor efecto deshidratante de éste azúcar en el proceso osmótico. La eficiencia del sorbitol en el proceso osmótico fue comprobada en los trabajos con frutillas (Rizzolo *et al.* 2007) y damascos (Riva *et al.* 2005; Togrul *et al.* 2007). En estos trabajos, los autores observaron una mayor pérdida de agua y una mayor ganancia de azúcares a lo largo del proceso osmótico y también atribuyeron tal ocurrencia a las diferencias entre los pesos moleculares de los dos azúcares.

Propiedades Mecánicas: Tensión a la Ruptura

La variación de la tensión a la ruptura durante 12 h de proceso puede ser vista en las **Figuras 4 y 5**. Los datos referentes a la tensión a la ruptura para 24 h de proceso no son presentados, porque no fue verificada ruptura en éstas condiciones, probablemente debido a la elevada ganancia de sólidos (**Figura 3**), dejando la estructura más plástica.

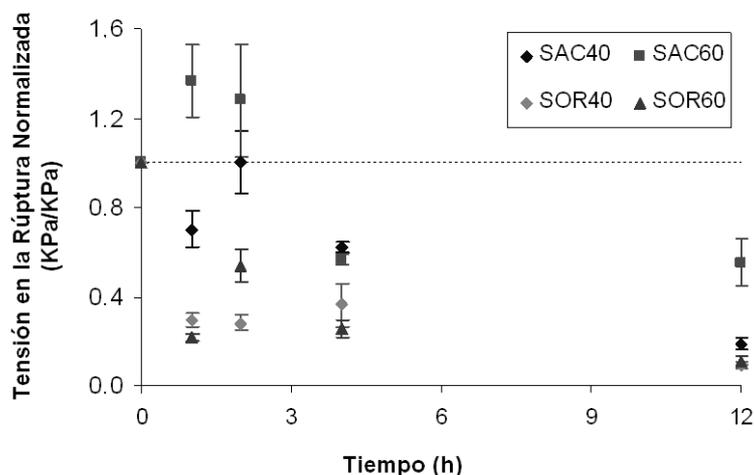


Figura 4. Variación de la Tensión a la Ruptura durante 12 h de proceso para los ensayos realizados con sacarosa (SAC40 e SAC60) o sorbitol (SOR40 e SOR60): concentraciones de 40 o 60°Brix.

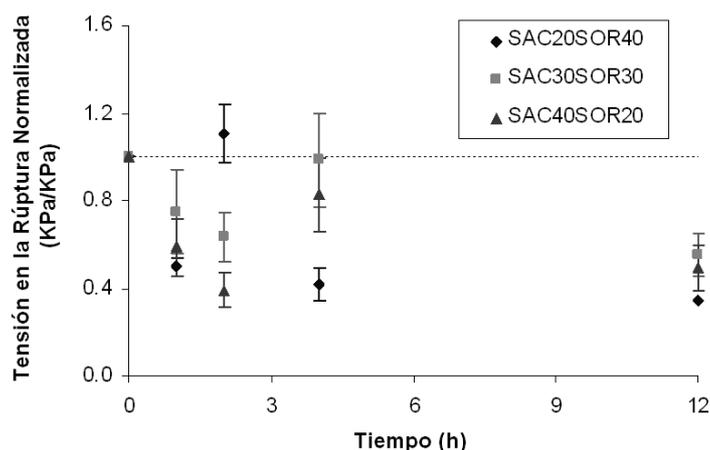


Figura 5. Variación de la Tensión a la Ruptura durante 12 h de proceso para los ensayos realizados con sacarosa y sorbitol. SAC20SOR40: solución con 20% de sacarosa y 40% de sorbitol, SAC30SOR30: solución con 30% de sacarosa y 30% de sorbitol, SAC40SOR20: solución con 40% de sacarosa y 20% de sorbitol.

El análisis estadístico de los datos experimentales no es presentado, porque a pesar de la relación de 5 repeticiones para este análisis (quintuplicado), no fueron observadas diferencias significativas entre las determinaciones de tensión a la ruptura de las muestras a los niveles de 5% y 10% de significancia. Tal variación en las medidas de la tensión a la ruptura se debe a la heterogeneidad entre las frutas y a la falta de uniformidad en su estructura interna, toda vez que las propiedades mecánicas de un material biológico son determinadas por la estructura y por los constituyentes de la pared celular, afectados por las condiciones de proceso y por las pequeñas variaciones en el nivel de maduración, variedad y época de cosecha. Una gran variabilidad en la materia prima también fue observada en trabajos realizados con guayabas (Pereira *et al.* 2004) y manzanas (Lewicki y Lukaszuk 2000).

De acuerdo con la **Figura 4**, los tratamientos con sorbitol resultaron en desvíos en la tensión de ruptura bastante menores que los presentados en las muestras procesadas con sacarosa, mostrando un efecto protector del sorbitol en la preservación de la estructura celular, garantizando así una mayor uniformidad en las características estructurales de la fruta.

De manera general, se puede decir que la deshidratación osmótica con soluciones de sacarosa o sorbitol provocó una reducción estadísticamente significativa de la tensión de ruptura de las muestras, dejando el producto más blando. Tal ocurrencia también fue relatada por Lewicki y Lukaszuk 2000 y por Prinzivalli *et al.* 2006 en manzanas y frutillas deshidratadas osmóticamente, respectivamente. Según los autores, el cambio de textura en el proceso osmótico es atribuido principalmente a los flujos de agua y de sólidos y a factores químicos y enzimáticos, como la descomposición de la pectina presente en la pared celular, debido a la acción de enzimas responsables por el ablandamiento de los frutos, tales como pectinametilesterasa y poligalacturonasa.

Un aumento de los valores de tensión a la ruptura en las primeras horas de proceso fue observado sólo para el ensayo con soluciones de sacarosa a 60°Brix, hecho que puede estar relacionado con la gran tasa de pérdida de agua (**Figura 1**) y la menor incorporación de sólidos (**Figura 3**) verificada en ésta condición. A partir de lo anterior, se puede decir que el uso de sorbitol como agente deshidratante en el proceso osmótico de peras no representa una alternativa viable, debido a los grandes cambios en las características de textura de la fruta observadas desde el inicio de los tratamientos. En este caso, el uso de la solución conteniendo la mezcla de los dos solutos, como el sorbitol y sacarosa, parece ser más apropiado para el producto, debido a su estructura poco rígida y frágil, a fin de reducir las modificaciones significativas en la textura de las frutas.

Coefficientes de Difusión

Los coeficientes efectivos de difusión (**Tabla 2**) para el agua fueron mayores en las muestras deshidratadas con sacarosa, debido probablemente a una menor incorporación de sólidos que lo que ocurre con soluciones de sorbitol. Además los coeficientes de difusión de sólidos son mayores en el caso de las soluciones con sacarosa, lo cual no es totalmente obvio debido al bajo peso molecular del sorbitol. Probablemente puede estar causado por la formación de una capa superficial de sorbitol que dificulta la difusión y enmascara el mecanismo real de difusión.

Tabla 2. Coeficientes de Difusión para el Agua y el Azúcar.

Ensayo	$D_{Wef} (m^2/s)$	$D_{Sef} (m^2/s)$
SAC40	$2.3656 \cdot 10^{-10}$	$2.2349 \cdot 10^{-10}$
SAC60	$2.7296 \cdot 10^{-10}$	$2.4390 \cdot 10^{-10}$
SOR40	$1.7393 \cdot 10^{-10}$	$1.5613 \cdot 10^{-10}$
SOR60	$1.5637 \cdot 10^{-10}$	$2.0291 \cdot 10^{-10}$

CONCLUSIONES

El sorbitol, por sí solo, no mostró ser un agente deshidratante efectivo, a pesar de promover una mayor tasa de salidas de agua y mayor ganancia de sólidos, por el hecho de producir en la fruta un deterioro mayor en relación a lo que ocurre con sacarosa. El modelo propuesto ajustó adecuadamente los valores experimentales y los coeficientes de difusión obtenidos explican las modificaciones ocurridas en torno a la transferencia de masa.

Una alternativa para la optimización del proceso sería la adición de sales de calcio a la solución osmótica, buscando preservar la integridad estructural de la pared celular de los alimentos deshidratados osmóticamente y, consecuentemente, las características de textura del producto final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.O.A.C. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th ed., Gaithersburg, Ed. William Horwitz, 2002.

Agnelli ME, Marani CM, Mascheroni RH 2005. Modelling of heat and mass transfer during (osmo) dehydrofreezing of fruits. *Journal of Food Engineering*, 69, 415-424.

Bobbio FO, Bobbio PA 1992. *Introdução à química de alimentos*. São Paulo: Varela, 223p.

Cândido LMB, Campos AM 1996. *Alimentos para fins especiais: dietéticos*. São Paulo: Varela, 423p.

Costell E, Fisman SM, Durán L 1997. *Propiedades Físicas I – Reología de Sólidos y Textura*. En: Aguilera, JM, editor. *Temas en Tecnología de Alimentos*, México: Ed. Instituto Politécnico Nacional, v.I, cap.6, p.215-260.

Crank J 1975. *The mathematics of diffusion* (2nd ed.). Oxford: Clarendon Press.

Erle U, Schubert H 2001. Combined Osmotic and Microwave-Vacuum Dehydration of Apples and Strawberries. *Journal of Food Engineering*, v.49, n.2-3, p.193-199.

FAO. FAOSTAT Statistical Database. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. Acceso el 10 dic. 2007.

Fito P, Chiralt A, Betoret N, Gras M, Cháfer M, Martínez-Monzó J, Andrés A, Vidal D 2001. Vacuum Impregnation and Osmotic Dehydration in Matrix Engineering. Application in Functional Fresh Food Development. *Journal of Food Engineering*, v.49, n.2-3, p.175-183.

Forni E, Sormani A, Scalise S, Torreggiani D 1997. The Influence of Sugar Composition on the Color Stability of Osmodehydrofrozen Moisture Apricots. *Food Research International*, v.30, p. 87- 94.

Kader AA. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu>. Acceso el 07 dic. 2007.

- Lewicki PP, Lukaszuk A 2000. Effect of Osmotic Dewatering on Rheological Properties of Apple Subjected to Convective Drying. *Journal of Food Engineering*, v.45, n.3, p.119-126.
- Pattee HE 1985. Evaluation of quality of fruits and vegetables. Avi publishing company Inc: Westport, 410p.
- Pereira LM, Rodrigues ACC, Sarantópoulos CIGL, Junqueira VCA, Cunha RL, Hubinger MD 2004. Influence of Modified Atmosphere Packaging and Osmotic Dehydration of Minimally Processed Guavas. *Journal of Food Science*, v.69, n.4, p.172-177.
- Prinzivalli C, Brambilla A, Maffi D, Lo Scalzo R, Torreggiani D 2006. Effect of Osmosis Time on Structure, Texture and Pectin Composition of Strawberry Tissue. *European Food Research and Technology*, v.224, n.1, p.119-127.
- Raoult-Wack AL 1994. Recent Advances in the Osmotic Dehydration of Foods. *Trends in Food Science & Technology*, v.5, n.8, p.255-260.
- Rastogi NK, Raghavarao KSMS 2004. Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Pineapple: considering Fickian Diffusion in Cubical Configuration. *Food Science and Technology: LWT*, v.37, n.1, p.43-47.
- Rastogi NK, Raghavarao KSMS, Niranjana K, Knorr D 2002. Recent Developments in Osmotic Dehydration: Methods to Enhance Mass Transfer. *Trends in Food Science & Technology*, v.13, n.1, p.48-59.
- Riva M, Campolongo S, Leva AA, Maestrelli A, Torreggiani D 2005. Structure–Property Relationships in Osmo-air-dehydrated Apricot Cubes. *Food Research International*, v.38, n.5, p.533–542.
- Rizzolo A, Gerli F, Prinzivalli C, Buratti S, Torreggiani D 2007. Headspace Volatile Compounds during Osmotic Dehydration of Strawberries (cv Camarosa): Influence of Osmotic Solution Composition and Processing Time. *Food Science and Technology: LWT*, v.40, n.3, p.529-535.
- SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em 11 julho 2007.
- Spiazzi, E.A. & Mascheroni, R.H. (1997). Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*, 34, 387-410.
- Talens, P.; Martínez-Navarrete, N.; Fito, P.; Chiralt, A. Changes in Optical and Mechanical Properties during Osmodehydrofreezing of Kiwi Fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.3, n.2, p.191-199, 2002.
- Togrul, I.C.; Ispir, A. Effect on Effective Diffusion Coefficients and Investigation of Shrinkage during Osmotic Dehydration of Apricot. *Energy Conversion and Management*, v.48, n.10, p.2611–262, 2007.
- Torreggiani, D.; Bertolo, G. Osmotic Pre-Treatments in Fruit Processing: Chemical, Physical and Structural Effects. *Journal of Food Engineering*, v.49, n.2-3, p.247-253, 2001.
- Torres, J.D.; Talens, P.; Escriche, I.; Chiralt, A. Influence of Process Conditions on Mechanical Properties of Osmotically Dehydrated Mango. *Journal of Food Engineering*, v.74, n.2, p.240-246, 2006.
- Ventura, F.C. Desenvolvimento de doce de fruta em massa funcional de valor calórico reduzido, pela combinação de goiaba vermelha e yacon desidratados osmoticamente e acerola. Dissertação (Mestre

em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. 217p.