

28TCA. COEFICIENTES DE DIFUSIÓN DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ANCO (*Cucurbita Moschata*). EFECTO DEL TAMAÑO

KVAPIL, F. A.¹; CHAILLOU, L. L.¹; RODRÍGUEZ, S. del C.¹; QÜESTA, A. G.¹; MASCHERONI, R. H.²

¹ Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICyTA), Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Avda. Belgrano 1912 – (4200) Santiago del Estero – Argentina - E-mail: agquesta@unse.edu.ar

² CIDCA (CONICET La Plata y UNLP). 47 y 116 – (1900) La Plata - Argentina y MODIAL - Facultad de Ingeniería - UNLP

Resumen: La deshidratación osmótica del anco surge como un tratamiento mínimo que permite prolongar su vida útil. Esta hortaliza se consume en el Noroeste argentino por su sabor suave, bajo costo y disponibilidad; es rica en fibra, vitaminas y potasio. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el ajuste al modelo de Azuara de la cinética de la deshidratación osmótica de cubos de anco de 0,5; 1 y 1,5 cm de espesor y analizar el efecto de la dimensión característica en las difusividades que determinan las transferencias de masa. Se determinaron gravimétricamente la pérdida de peso y la ganancia de sólidos; la pérdida de agua se obtuvo a partir de las variables anteriores. Las mayores pérdidas de agua y ganancias de sólidos se obtuvieron para cubos de menor espesor. Se calcularon los parámetros cinéticos mediante el modelo matemático, lográndose muy buenos ajustes y se determinaron las difusividades para la pérdida de agua y la ganancia de sólidos, obteniéndose coeficientes menores para la ganancia de sólidos. Los valores de difusividad másica calculados aumentaron linealmente con el cuadrado de la dimensión característica de los cubos.

1. Introducción

El anco (*Cucurbita moschata*), fruto de una planta herbácea anual o perenne, es una hortaliza rica en vitaminas B₂, C y E, carotenoides, pectina, sales minerales y fibra (de Escalada Plá et al., 2007). El contenido de β -caroteno oscila entre 0,06 y 7,4 mg/100 g, el de α -caroteno de 0 a 7,5 mg/100 g y el de luteína de 0 a 17 mg/100 g (Murkovic et al. 2002). Si bien se han identificado 25 especies de cucurbitáceas, siendo las más importantes *Cucurbita maxima*, *Cucurbita pepo* y *Cucurbita moschata* (Mayor et al. 2007), esta última es la de mayor consumo en la región del Noroeste argentino por su sabor suave, bajo costo y disponibilidad durante todo el año. Sin embargo, el escaso conocimiento de su comportamiento durante tratamientos industriales dificulta su utilización en la producción de alimentos con vida útil adecuada (Derossi et al., 2011).

En la actualidad, existe una demanda creciente, por parte de los consumidores, de productos de buena calidad y listos para consumir. Los métodos convencionales de conservación no son suficientes, puesto que causan deterioro de los atributos sensoriales y también degradación de las propiedades nutricionales. Por ello, en las últimas décadas, se ha desarrollado una gran diversidad de métodos de procesamiento que permiten obtener productos inocuos, con apariencia fresca y con un alto valor nutricional (Simpson et al., 2007). Dentro de ellos, la deshidratación osmótica (DO), se utiliza en frutas y hortalizas como una primera etapa, para obtener diversos tipos de productos, como vegetales mínimamente procesados, o como tratamiento previo a los procedimientos de secado convencionales o congelación/liofilización (Chiralt et al., 2001).

La DO es un método de conservación que permite reducir el contenido de agua de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica de azúcares y/o sales. Durante el proceso se produce un flujo en contracorriente de agua de los tejidos biológicos a la solución osmótica y de soluto de la solución a los tejidos. La fuerza impulsora es el gradiente de presión osmótica entre el alimento y la solución; sin embargo, numerosas variables pueden afectar la cinética de la transferencia de masa y la calidad de los alimentos (Salvatori y Alzamora, 2000). Dentro de estas variables, desde el punto de vista de las características intrínsecas del producto, se pueden mencionar el tamaño, la forma, el grado de madurez, etc.; y, desde el punto de vista del proceso, las variables principales son la composición y la concentración de la solución osmótica; la temperatura y el tiempo de proceso, la presión de trabajo y la agitación de la solución (Sablani y Rahman, 2003).

Esta tecnología permite obtener productos de humedad intermedia con muy buena calidad organoléptica (Barat et al., 2001) y mínimas pérdidas de nutrientes (Shi et al. 1999). Los solutos que se utilizan en la elaboración de las soluciones son de bajo costo y el consumo energético involucrado es mínimo (Palou et al., 1993). Por lo tanto, este método, es una alternativa interesante para el procesamiento del anco. Sin embargo, al respecto existe muy poca información bibliográfica (Goitía et al., 1998; Castilho García et al., 2007).

La gran complejidad del sistema dificulta la utilización de modelos matemáticos que describan la transferencia de masa que ocurre durante la DO. Por ello, se aplican modelos fenomenológicos, empíricos y semiempíricos, que correlacionan la pérdida de agua y la ganancia de sólidos con algunas variables a través de relaciones muy simples, que, generalmente, son válidas para el caso estudiado (Ochoa-Martínez y Ayala-Aponte, 2005). Por ejemplo, el de Azuara es un modelo empírico que ajusta los datos experimentales a ecuaciones derivadas de los balances de masa y que requiere parámetros ajustables, que son constantes de velocidad (Azuara et al., 1992).

2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo fueron: evaluar el ajuste de los datos experimentales correspondientes a la pérdida de agua y a la ganancia de sólidos de cubos de anco, deshidratados en soluciones hipertónicas de sacarosa, al modelo de Azuara; determinar las difusividades efectivas y evaluar el efecto del tamaño del cubo sobre la cinética del proceso.

3. Metodología

1.1. Preparación de las muestras

Se trabajó con ancós obtenidos en el mercado local. En el laboratorio, se lavaron, pelaron y cortaron en cubos de 0,5; 1 y 1,5 cm de espesor. Las muestras, inicialmente pesadas, se colocaron en canastas de malla metálica diseñadas especialmente para las experiencias. Las canastas se sumergieron en solución de sacarosa de 55°Bx contenida en un baño termostático a 30°C, con agitación forzada. El volumen de la solución fue lo suficientemente elevado como para impedir su dilución por el flujo de agua proveniente del producto.

Se extrajeron muestras al cabo de 0,5, 1, 2, 3, 5 y 8 horas de tratamiento y los ensayos se realizaron por triplicado.

1.2. Determinaciones analíticas

Las muestras, previamente pesadas en balanza analítica, fueron sometidas a deshidratación osmótica. Al cabo de los tiempos preestablecidos, se extrajo una muestra representativa, los cubos se lavaron ligeramente con agua destilada, se secaron con papel absorbente y se pesaron nuevamente para determinar su pérdida de peso. La pérdida de peso porcentual (%WR) se calculó con la ecuación (1).

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

donde m_i : masa inicial de la muestra; m_f : masa de muestra osmotizada al tiempo t .

Posteriormente, para determinar el contenido de sólidos totales, los cubos se trituraron y secaron en estufa de vacío a 60°C, hasta peso constante. Mediante las ecuaciones (2) y (3) aplicadas a las mediciones obtenidas por gravimetría se calcularon, en forma porcentual, la pérdida de agua (WL) y la ganancia de sólidos (GS).

$$WL(\%) = \left[\left(1 - \frac{TS^0}{100} \right) - \left(1 - \frac{TS}{100} \right) \left(1 - \frac{WR}{100} \right) \right] \times 100 \quad (2)$$

$$GS(\%) = \left[\left(1 - \frac{WR}{100} \right) \frac{TS}{100} - \frac{TS^0}{100} \right] \times 100 \quad (3)$$

donde TS^0 : contenido de sólidos totales iniciales; TS : contenido de sólidos totales de la muestra osmotizada al tiempo t .

Periódicamente, se verificó la concentración de sólidos solubles en la solución azucarada utilizándose un refractómetro de mano.

1.3. Modelado matemático y tratamiento estadístico

Los datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica, pérdida de agua y la ganancia de sólidos, se ajustaron al modelo matemático establecido por Azuara et al. (1992) utilizando las ecuaciones (4) y (5).

$$WL_t = \frac{s_1 t WL_\infty}{1 + s_1 t} \quad (4)$$

$$GS_t = \frac{s_2 t GS_\infty}{1 + s_2 t} \quad (5)$$

donde WL_t , WL_∞ y GS_t , GS_∞ : pérdida de agua y ganancia de sólidos en un tiempo t y en el equilibrio, 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 (4) y (5) y representándolas gráficamente se obtienen los parámetros s_1 , s_2 , WL_∞ y GS_∞ .

Además, relacionando el modelo con la solución simplificada de la ley de Fick, se puede calcular el coeficiente de difusión efectivo (D_e) para la pérdida de agua como se muestra en la ecuación (6) (Azuara et al., 1992).

$$D_e = \frac{\pi t}{4} \left[\left(\frac{s_1 l}{1 + s_1 t} \right) \left(\frac{WL_\infty^{\text{mod}}}{WL_\infty^{\text{exp}}} \right) \right]^2 \quad (6)$$

En la ecuación (6) 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 láminas semi-infinitas como en el trabajo original de Azuara et al. (1992), l corresponde a la tercera parte del espesor del cubo (Rastogi y Niranjani, 1998). A partir de esta ecuación se calculó la difusividad para la ganancia de sólidos y la pérdida de agua con las variables correspondientes.

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

4. Resultados

En la Fig. 1 se presentan los resultados obtenidos para la pérdida de peso experimental por cubos de anco de distintos espesores sumergidos en solución de sacarosa de 55°Bx. La pérdida de peso se incrementa con el tiempo y es mayor cuanto más pequeño es el espesor del cubo; durante las primeras horas de tratamiento se observa una notable velocidad de pérdida, particularmente para los cubos de 0,5 cm. Esta velocidad disminuye a partir de las 2-3 h de tratamiento.

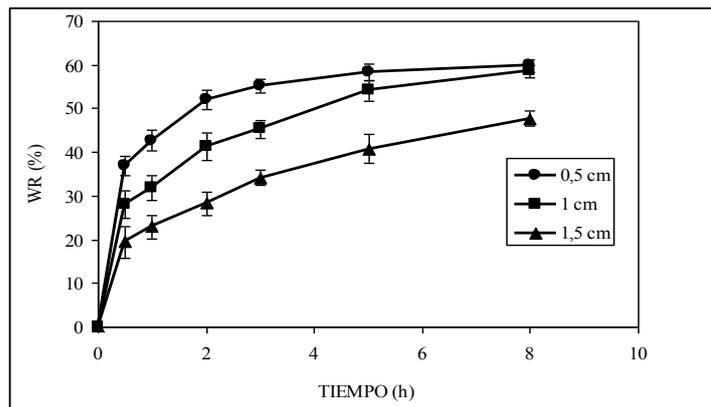


FIGURA 1. Pérdida de peso de cubos de anco de 0,5; 1 y 1,5 cm de espesor, sometidos a deshidratación osmótica en solución de sacarosa.

La pérdida de agua sigue una cinética similar a la pérdida de peso, aumentando con el tiempo y disminuyendo con el espesor de los cubos, tendiendo al equilibrio a partir de las 3 h de proceso, como se muestra en la Fig. 2.

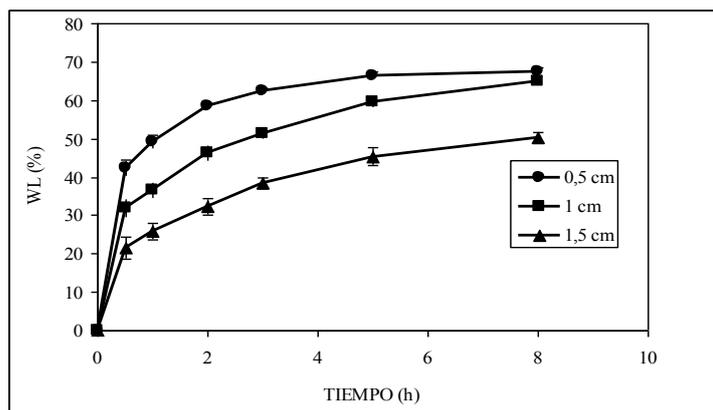


FIGURA 2. Pérdida de agua de cubos de anco de 0,5; 1 y 1,5 cm de espesor, sometidos a deshidratación osmótica en solución de sacarosa.

Tanto para la pérdida de agua como para la de peso se observa que aumentan a medida que disminuye la relación entre el área superficial total y el espesor, esto está de acuerdo con los resultados obtenidos por distintos investigadores que estudiaron - para otros vegetales - el efecto del área utilizando igual geometría (Salvatori y Alzamora, 2000; Van Nieuwenhuijzen et al., 2001).

En la Fig. 3 se presenta la ganancia de sólidos en función del tiempo.

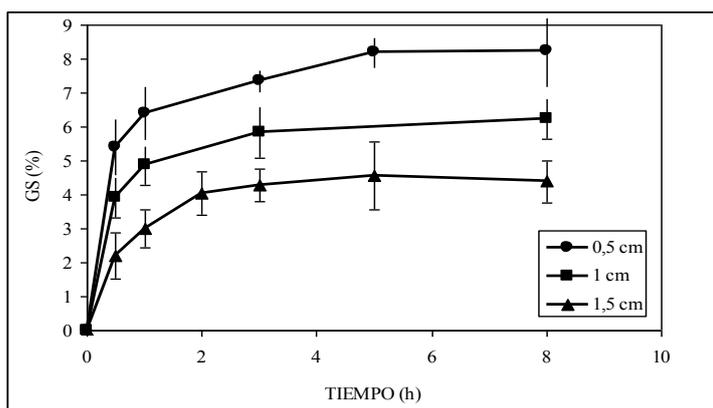


FIGURA 3. Pérdida de agua de cubos de anco de 0,5; 1 y 1,5 cm de espesor, sometidos a deshidratación osmótica en solución de sacarosa.

En la Tabla 1 se presentan los parámetros de ajuste, al modelo de Azuara, tanto para la pérdida de agua como para la ganancia de sólidos.

TABLA 1. Parámetros cinéticos de la pérdida de agua y de la ganancia de sólidos de acuerdo con el modelo de Azuara

Espesor (cm)	WL					GS				
	WL_{∞}^{exp}	WL_{∞}^{mod}	s_1	D_e (m^2/s)	R^2	GS_{∞}^{exp}	GS_{∞}^{mod}	s_2	D_e (m^2/s)	R^2
0,5	67,28	70,92	2,56	$2,8 \times 10^{-11}$	0,999	8,23	8,68	2,29	$2,8 \times 10^{-11}$	0,997
1,0	64,76	70,91	1,08	$2,2 \times 10^{-10}$	0,995	6,23	6,39	2,47	$1,1 \times 10^{-10}$	0,995
1,5	50,22	56,81	0,83	$2,9 \times 10^{-10}$	0,992	4,38	4,73	2,26	$2,6 \times 10^{-10}$	0,996

Los coeficientes de correlación indican un muy buen ajuste entre los datos experimentales y el modelo de Azuara. Los valores de difusividad obtenidos son del mismo orden de

magnitud que los reportados para láminas de anco deshidratadas osmóticamente en soluciones de sacarosa y en condiciones de trabajo similares, 40, 50 y 60 % p/p a 27 °C (Castilho García et al., 2007).

Por otra parte, los valores de difusividad másica para la pérdida de agua y la ganancia de sólidos aumentan linealmente con el cuadrado de la dimensión característica de los cubos, siendo sus coeficientes de ajuste de 0,844 y 0,999, respectivamente. Asimismo, se puede observar en la Tabla 1 que los valores de difusividad - calculados como valores promedio en el tiempo y en el volumen de la muestra - para los sólidos ganados son menores que los obtenidos para la pérdida de agua, coincidiendo con lo informado por Castilho García et al. (2007). Además, las muestras que presentan mayor relación área/volumen experimentan mayor ganancia de sólidos; sus menores valores de D_e podrían originarse en la formación de una capa de azúcar superficial, que dificultaría la difusión en ambos sentidos (Ferrari y Hubinger, 2008).

5. Conclusiones

La mayor velocidad de pérdida de agua y ganancia de sólidos en la DO de cubos de anco se obtuvo para los de menor espesor; a partir de las 3 h estas variables tienden a estabilizarse.

Los datos experimentales se ajustan muy bien al modelo estudiado y las difusividades, tanto para el agua como para los sólidos, aumentan con el espesor de los cubos, siendo menores las correspondientes a sólidos ganados.

La deshidratación osmótica de anco representa una alternativa interesante para obtener un producto listo para usar, con un menor contenido de agua.

Es necesario realizar estudios adicionales para determinar la incidencia de esta deshidratación parcial en la conservación de la hortaliza.

6. Bibliografía

- Azuara, E.; Beristain, C. I.; García, H. S. (1992). Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. *International Journal of Food Science and Technology*, 29: 239-242.
- Barat, J. M.; Chirat, A.; Fito, P. (2001). Effect of osmotic solution concentration, temperature, and vacuum impregnation pretreatment on osmotic kinetics of apple slices. *Food Science and Technology International*, 7: 451-456.
- Castilho García, C.; Mauro, M.A.; Kimura, M. M. (2007). Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). *Journal of Food Engineering*, 82: 284-291.
- Chiralt, A.; Martínez-Navarrete, N.; Martínez-Monzó, J.; Talens, P.; Moraga, G.; Ayala, A.; Fito, P. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes cryoprotectant effect. *Journal of Food Engineering*, 49: 129-135.
- de Escalada Pla, M.; Ponce, N.; Stortz, C.; Gerschenson, L.; Rojas, A. (2007). Composition and functional properties of enriched fiber products obtained from pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret). *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie – Food Science and Technology*, 40: 1176-1185.
- Derossi, A.; de Pilli, T.; Giuliani, R.; ORLANDO, I.; Palmieri, L.; Severini, C. (2011). Study on prestabilization of pumpkin (*Cucurbita moschata*) by osmotic dehydration in quaternary complex solution. *Journal of Food Process Engineering*, 34: 398-413.
- Ferrari, C.C.; Hubinger, M.D. (2008). Evaluation of mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 2065-2074.

- Goitia, A.E.; Qüesta, A.G.; Raña, E.; Rodríguez, S. del C.; Cesca, V. M. (1998). Aplicación de la DO a productos frutihortícolas. III Jornadas de investigación de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.
- Mayor, L.; Moreira, R.; Chenlo, F.; Sereno, A.M. (2007). Osmotic dehydration kinetics of pumpkin fruits using ternary solutions of sodium chloride and sucrose. *Drying Technology*, 25: 1749–1758.
- Murkovic, M.; Mulleder, U.; Neunteufl, H. (2002). Carotenoid content in different varieties of pumpkins. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15: 633–638.
- Palou, E.; López-Malo, A.; Argai A.; Welti, J. (1993). Osmotic dehydration of papaya. Effect of syrup concentration. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 33: 621-630.
- Sablani, S. S.; Rahman, 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.
- Salvatori, D.; Alzamora, S.M. (2000). Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples as affected by blanching and process variables. *Drying Technology*, 18: 361–382.
- Shi, J.; Le Maguer, M.; Kakuda, Y.; Liptay, A.; Niekamp, F. (1999). Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Research International*, 32: 15–21.
- Simpson, R.; Jimenez, M.; Carevic, E.; Grancelli, R. (2007). Aceleración de la deshidratación osmótica de frambuesas (*Rubus idaeus*) por medio de calentamiento óhmico. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57: 192-195.
- Van Nieuwenhuijzen, N. H.; Zareifard, M. R.; Ramaswamy, H. S. (2001). Osmotic drying kinetics of cylindrical apple slices of different sizes. *Drying Technology*, 19: 525-545.