

## Análisis de la deshidratación osmótica de melón (*Cucumis melo*)

## Analysis of the osmotic dehydration of melón (*Cucumis melo*)

Gómez-Daza J.C. \*

\*Ingeniero químico, M.Sc. en Ingeniería, Ph.D. en Ingeniería, docente Universidad del Valle

### Resumen

La deshidratación osmótica es un tratamiento no térmico utilizado para reducir el contenido de humedad de los alimentos, con el objeto de prolongar el tiempo de vida comercial y mantener características sensoriales y nutricionales. En este trabajo se realizaron cinéticas de deshidratación osmótica durante 300 minutos de cilindros de melón mediante tratamiento con soluciones de sacarosa a 59.3 °Brix y glucosa a 50 °Brix. Se cuantificaron en función del tiempo de deshidratación el contenido de humedad, sólidos solubles totales y cambios en la masa de los cilindros de melón; adicionalmente se determinaron los parámetros cinéticos para los tratamientos y los coeficientes de difusividad efectiva empleando la Ecuación de Fick simplificada para cilindros. Los resultados evidenciaron una reducción gradual del contenido de humedad y ganancia de sólidos solubles totales en los cilindros de melón, generados por transporte de masa simultáneo de los dos componentes (agua y solutos), adicionalmente se cumplieron los balances de materia. Además, que el tratamiento con glucosa presenta un  $De = 8.7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  mayor que tratamiento con sacarosa  $De = 3.3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ . Por lo anterior se concluye que la deshidratación osmótica de melón se ve potenciada empleando glucosa en la solución hipertónica y que los modelos matemáticos establecidos son adecuados para modelar la deshidratación osmótica en cilindros de melón.

**Palabras clave:** Balance de masa, cinética, melón, modelación matemática, secado.

### Abstract

Osmotic dehydration is a no-heat treatment and is used to reduce the moisture content of the food, in order to prolong shelf life, maintain sensory and nutritional characteristics. In this work osmotic dehydration kinetics were performed for 300 minutes in melon cylinder by treatment with sucrose solutions at 59.3 ° Brix and 50 ° Brix glucose. Were quantified versus time during dehydration the moisture content, total soluble solids, and changes in mass of melon cylinders; kinetic parameters for further treatments and effective diffusion coefficients using Equation Fick simplified to cylinder were determined. The results showed a gradual reduction in moisture content and total soluble solids increment in the cylinders of melon, generated by simultaneous transport of mass of the two components (water and solutes). Furthermore, treatment with glucose has a  $De = 8.7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  higher than for treatment with sucrose  $= 3.3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ . Therefore we conclude that osmotic dehydration is enhanced melon using hypertonic glucose solution and established mathematical models that are suitable for modeling cylinders osmotic dehydration in melon.

**Keywords:** Mass balance, kinetics, melón, mathematic modelation, drying.

Recibido: 29/09/2014

Revisado: 05/10/2014

Aceptado: 10/12/2014

Correspondencia de autor:

juan.gomez.d@correounivalle.edu.co

© 2014 Universidad La Gran Colombia. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia *Creative Commons Attribution License*, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acrediten.

### Cómo citar:

Gómez-Daza, L. (2014). Análisis de la deshidratación osmótica de melón (*Cucumis melo*). *UGCiencia* 20. 72-78

## Introducción

La deshidratación osmótica involucra la deshidratación parcial de un alimento sólido rico en agua, a través de la inmersión en una solución acuosa hipertónica de varios solutos comestibles. La investigación en el área de la deshidratación osmótica se ha llevado por más de 30 años, pero la aplicación industrial del método se ha mantenido limitada por varias razones. Una es la complejidad estructural del tejido celular que impide tener una descripción clara de los mecanismos de transporte de masa que controlan el fenómeno (Mavroudis *et al.*, 2001).

Se ha incrementado la demanda de productos procesados que mantengan sus características originales. En términos industriales, esto requiere el desarrollo de operaciones que minimicen los efectos adversos del procesamiento. En el momento existe una alta demanda por ingredientes de frutas de alta calidad que se usan en muchas formulaciones tales como pasteles y productos de confitería, helados de crema, dulces y postres congelados, aderezos de frutas, queso y yogurt. Torreggiani y Bertolo, (2001), compararon la deshidratación con aire, la osmo-deshidratación y la deshidratación osmo-aire de kiwi encontrando que estas son herramientas útiles y efectivas para formular nuevos ingredientes.

El melón es considerado una fruta con alto potencial en el mercado de los estados unidos. Entre los años de 1999 al 2002 tuvo un crecimiento de 7% en este mercado pasando de 835000 a 892000 toneladas métricas (Pfaeffle, 2003).

Se han deshidratado osmóticamente varias frutas y vegetales con diferentes objetivos. Así, Shi, Fito y Chiralt (1995), determinaron la influencia del tratamiento en vacío sobre la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de albaricoque, piña y fresa; Panagiotou, Karathanos y Maroulis (1998), realizaron el modelamiento de la transferencia de masa de la deshidratación osmótica de manzana, banano y kiwi; Azuara, Beristain y Gutiérrez (1998), usaron un método continuo para evaluar la cinética de la deshidratación osmótica de piña.

Chiralt *et al.* (2000), evaluaron los cambios en las propiedades mecánicas a través del efecto crioprotector del proceso osmótico en mango, kiwi y fresa; Barat, Chiralt y Fito (2001), determinaron el efecto de la concentración de la solución osmótica, la temperatura y el pretratamiento de impregnación al vacío sobre la deshidratación osmótica de rodajas de manzana; Waliszewski, Delgado y García (2002), determinaron la concentración de equilibrio y la difusividad en la deshidratación osmótica de rodajas de piña; Mauro, de

Queiroz y Menegalli (2002), analizaron el comportamiento de los tejidos de papa en soluciones osmóticas de sacarosa, enfocándose en la estructura celular y la plasmólisis de este material.

Chavarro-Castrillón, Ochoa-Martínez y Ayala-Aponte (2006), evaluaron el efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya; Fernández *et al.* (2006), optimizaron la deshidratación osmótica de papaya para someterla posteriormente a secado con aire.

En este artículo se realizó un estudio de la cinética de deshidratación de melón sometido a dos soluciones osmóticas. Se realizaron los balances de materia, se obtienen los parámetros cinéticos y se determina el coeficiente de difusión efectivo para cada tratamiento.

## Materiales y métodos

### Preparación de las muestras

Los melones (*Cucumis melo*), se compraron en el mercado local, con un grado de madurez equivalente, se pelaron y se cortaron en mitades, se extrajeron cilindros de 2.0 cm de diámetro y 1.5 cm de altura y se tomaron muestras a cada tiempo para la caracterización de la composición (humedad y sólidos solubles).

### Preparación de soluciones hipertónicas

Se prepararon dos soluciones hipertónicas, a partir de la mezcla de agua-sacarosa y agua-glucosa. Las soluciones fueron preparadas a partir de relaciones P/V y verificadas por refractometría (Atago, Japón). Se prepararon dos soluciones: 59,3% Sacarosa y 50% glucosa.

### Tratamientos

Osmótico: Las muestras de melón fueron sumergidas en una solución de sacarosa de 59.3 °Brix y en una solución de glucosa de 50 °Brix. A los 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 180 y 300 min se tomaron muestras de cada tratamiento y se les determinó la masa ( $m_o$ ), la humedad ( $X_w$ ) y los sólidos solubles ( $X_{ss}$ ). A los datos de los dos tratamientos se les realizó la prueba  $F$  de Fisher o Snedecor, para validar si son diferentes los conjuntos de valores.

### Determinación del contenido de humedad y contenido de sólidos solubles totales

El contenido de humedad (CH) se determinó siguiendo la norma AOAC 934.01 empleando el método gravimétrico (105 °C por 24h). El contenido de sólidos solubles totales (SST) por medio de refractometría (refractómetro Tipo ABBE DR-A1, Atago, Japón).

La variación de masa ( $\Delta M$ ) de cada componente se calculó para cada componente, empleando las ecuaciones 1, 2 y 3.

$$\Delta M_W = \frac{(M_t)(X_t^w) - (M_0)(X_0^w)}{M_0} \quad [1]$$

$$\Delta M_{SS} = \frac{(M_t)(X_t^{SS}) - (M_0)(X_0^{SS})}{M_0} \quad [2]$$

$$\Delta M_T = \frac{(M_t) - (M_0)}{M_0} \quad [3]$$

Donde:

$M_0$  = Peso inicial de la muestra (g)

$M_t$  = Peso de la muestra a un tiempo t de tratamiento (g)

$X_0^w$  = Fracción de agua inicial de la muestra (g de agua / g de muestra)

$X_t^w$  = Fracción de agua a un tiempo t de tratamiento (g de agua / g de muestra)

$X_0^{SS}$  = Fracción de sólidos solubles iniciales de la muestra (g de sólidos solubles / g de muestra).

$X_t^{SS}$  = Fracción de sólidos solubles a un tiempo t de tratamiento (g de sólidos solubles / gr de muestra)

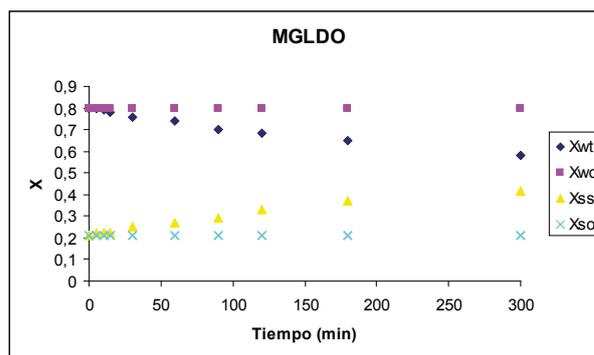
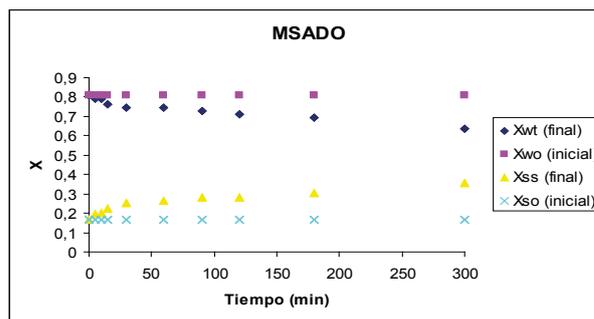
## Resultados y discusión

### Variaciones de masa

A partir de los datos experimentales se construyeron las curvas de  $X_s$  y  $X_w$  en función del tiempo. En las Figuras 1 y 2 se presentan la evolución de las fracciones para el tratamiento con sacarosa (MSADO) y con glucosa (MGLDO) respectivamente.

Figura 1. Evolución de la fracción de sólidos y agua en DO de melón en sacarosa

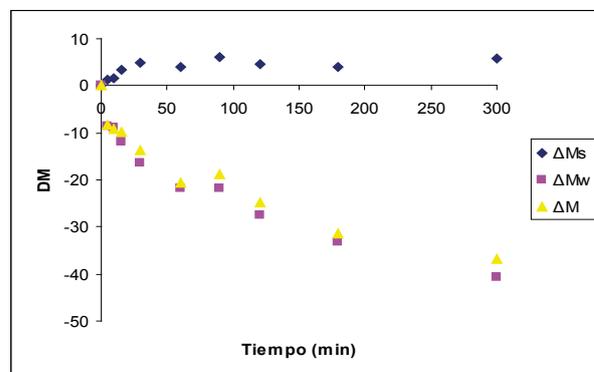
Figura 2. Evolución de la fracción de sólidos y agua en DO de melón en glucosa



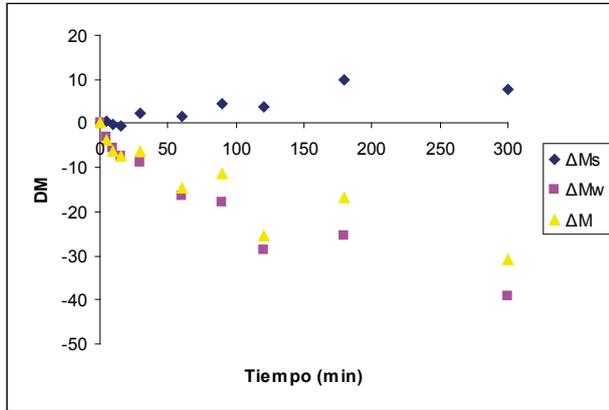
Las figuras 1 y 2 presentan un comportamiento análogo para la evolución de las fracciones de sólidos y agua. Así, la fracción de agua va disminuyendo con el tiempo mientras que la fracción de sólidos va aumentando con el tiempo.

Las variaciones de masa de sólidos, agua y total en el tiempo se presentan en las figuras 3 y 4 para el tratamiento con sacarosa (MSADO) y con glucosa (MGLDO) respectivamente.

Figura 3. Evolución de las variaciones de masa para la DO de melón en sacarosa



**Figura 4.** Evolución de las variaciones de masa para la DO de melón en glucosa

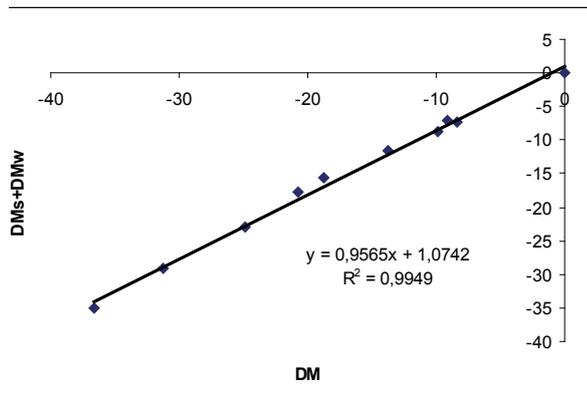


De las figuras 3 y 4 se puede inferir que la variación de masa de sólidos ( $\Delta M_s$ ) al ser positiva y creciente en el tiempo, está indicando que se presenta una ganancia de estos en el material para los dos tratamientos. Por otro lado, la variación de masa de agua ( $\Delta M_w$ ) y la variación total ( $\Delta M$ ) son negativas y decrecientes con el tiempo, lo que indica que éstas representan pérdida de masa en el material, siendo la variación de agua mayor que la total.

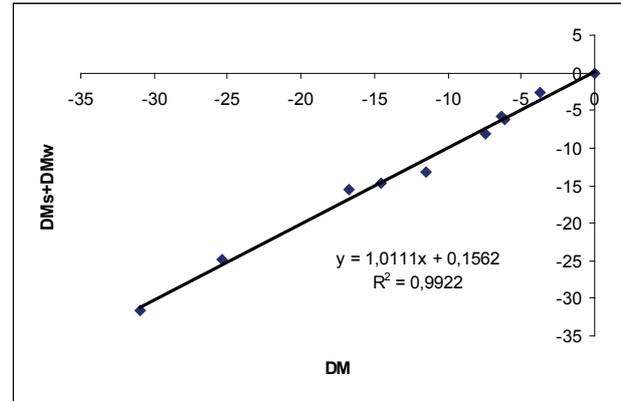
### Balances de materia

Los balances de materia ( $\Delta M_s + \Delta M_w$  frente a  $\Delta M$ ) se presentan en las figuras 5 y 6 para el tratamiento con sacarosa (MSADO) y con glucosa (MGLDO) respectivamente.

**Figura 5.** Balance de materia para la DO de melón en sacarosa



**Figura 6.** Balance de materia para la DO de melón en glucosa



Los ajusten que presentan las figuras 5 y 6 respecto a los balances de los dos procesos de deshidratación, ratifican que la experimentación fue satisfactoria pues se cumple el principio de conservación de la masa en el sistema para los dos tratamientos.

### Parámetros cinéticos

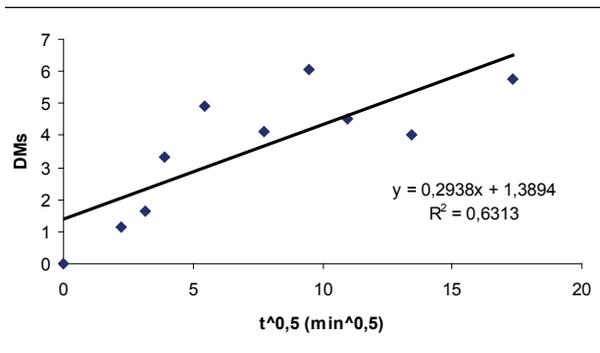
Para obtener los parámetros cinéticos  $k_{w0}$ ,  $k_w$ ,  $k_{s0}$ ,  $k_s$  y su correspondiente  $R^2$ , se ajustan los datos a ecuaciones empíricas. La variación de masa ( $\Delta M$ ) se ha modelado usando la ecuación empírica en términos de la raíz cuadrada del tiempo y las ecuaciones empleadas (Cháfer *et al.*, 2001; Giraldo, Chiralt y Fito, 2005):

$$\Delta M_s = k_s t^{0.5} + k_{s0} \quad [4]$$

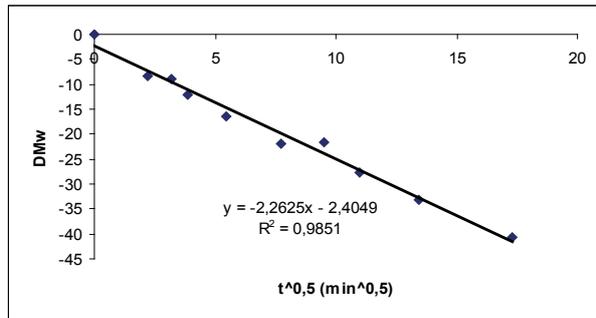
$$\Delta M_w = k_w t^{0.5} + k_{w0} \quad [5]$$

Los datos son ajustados a las ecuaciones 4 y 5 y se presentan en las figuras 7 y 8 para el tratamiento con sacarosa (MSADO) y en las figuras 9 y 10 para el tratamiento con glucosa (MGLDO), respectivamente.

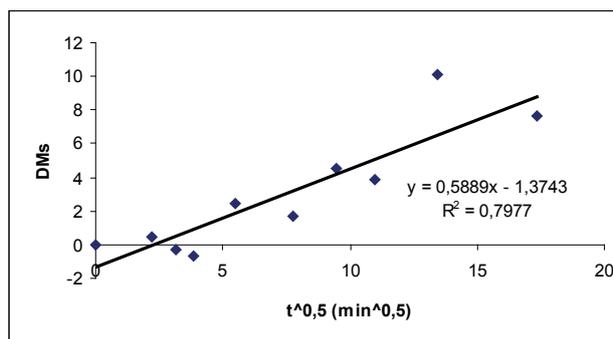
**Figura 7.** Ajuste de los datos de variación de sólidos en DO de melón en sacarosa



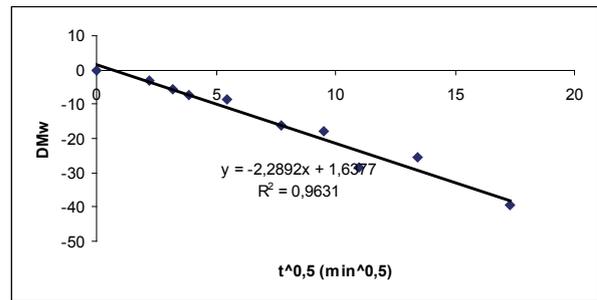
**Figura 8.** Ajuste de los datos de variación de agua en DO de melón en sacarosa



**Figura 9.** Ajuste de los datos de variación de sólidos en DO de melón en glucosa



**Figura 10.** Ajuste de los datos de variación de agua en DO de melón en glucosa



Considerando que los términos  $k_d$  y  $k_s$  (las pendientes de las ecuaciones) están relacionados con los mecanismos difusionales y osmóticos, mientras que los términos  $k_{w0}$  y  $k_{s0}$  (interceptos) hacen referencia a las ganancias netas hidrodinámicas o capilares, se puede inferir:

- El ajuste para el agua es aceptable en ambos tratamientos ( $R^2$  relativamente alto).
- Para los sólidos el ajuste es pobre ( $R^2$  relativamente bajo).
- La velocidad de pérdida de agua es aproximadamente igual en ambos tratamientos.
- Con sacarosa hay una pérdida neta de agua, mientras con glucosa una ganancia neta de ésta.
- La velocidad de ganancia de sólidos es mayor en el tratamiento con glucosa.
- Los términos relativos a las ganancias netas hidrodinámicas o capilares tienen signo contrario tanto para los sólidos como para el agua, esto sugiere que se presentan diferentes mecanismos con los dos solutos.
- Los mecanismos difusionales y osmóticos son más representativos para la pérdida de agua que para la ganancia de sólidos en el proceso para ambos solutos.

Para los datos encontrados, se realizó la prueba de Fisher a un nivel de confianza de 95%, nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . Para un  $F_{\text{tabulado}} = 3.18$ , con un criterio de rechazo de la hipótesis nula  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabulado}}$ , la Tabla 1 presenta los resultados.

**Tabla 1.** Datos y resultados para la prueba de Fisher

Tiempo (min)	Glucosa		Sacarosa	
	Xwt	Xss	Xwt	Xss
0	0.79604136	0.2100	0.80924818	0.1675
5	0.79488526	0.2230	0.79088877	0.1955
10	0.79212494	0.2210	0.79314346	0.2025
15	0.78055083	0.2200	0.76489295	0.2225
30	0.75495635	0.2500	0.74721267	0.2510
60	0.74064542	0.2650	0.74408676	0.2635
90	0.69933346	0.2880	0.72962653	0.2810
120	0.68282454	0.3325	0.71069569	0.2835
180	0.64812394	0.3730	0.69556219	0.3025
300	0.58356108	0.4150	0.63547951	0.3550
<b>Varianza</b>	0.00521822	0.00511651	0.00274664	0.00319741

Con nueve grados de libertad, para la fracción de agua se tiene un  $F_{calculado} = 1.90$  y para la fracción de sólidos solubles  $F_{calculado} = 1.60$ .

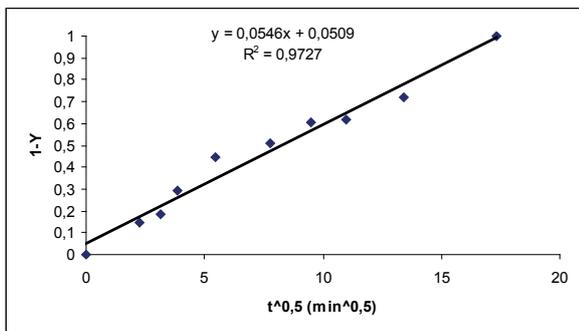
### Coefficiente de difusión efectivo

Los valores del coeficiente de difusión efectivo ( $D_e$ ) de los tratamientos se obtienen de la relación lineal entre  $1 - Y$  y la raíz cuadrada del tiempo de proceso de acuerdo con la ecuación 6. Se ajustó a la ecuación fickiana simplificada (un único término de la solución seriada para tiempos cortos) para un cilindro finito, de radio  $r$  y altura  $l$  (Giraldo, Chiralt y Fito, 2005; Crack, 1975; Cháfer *et al.*, 2001).

$$1 - Y = 1.128 \left( \frac{2}{r} + \frac{1}{l} \right) \sqrt{D_e t} \quad [6]$$

En las figuras 11 y 12 se presenta el ajuste correspondiente para tratamiento con sacarosa (MSADO) y con glucosa (MGLDO) respectivamente.

**Figura 11.** Ajuste al modelo fickiano para tiempos cortos de la DO de melón en sacarosa



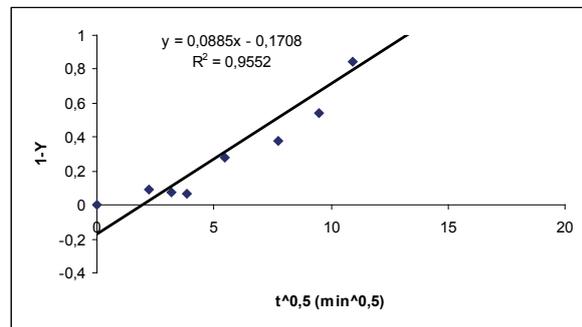
Considerando que la ecuación 6 representa una recta con inicio en el origen de coordenadas (0, 0), se obtiene el valor del coeficiente de difusión efectivo a partir del valor de la pendiente y teniendo en cuenta que por tratarse de una ecuación dimensional, las unidades están ajustadas por el término que aparece multiplicando la expresión, además, que las unidades para el radio y la altura están en metros.

De la ecuación 6,

$$\text{Pendiente} = 1.128 \left( \frac{2}{r} + \frac{1}{l} \right) \sqrt{D_e} \quad [7]$$

$$D_e = \left[ \frac{\text{pendiente}}{1.128 \left( \frac{2}{r} + \frac{1}{l} \right)} \right]^2 \quad [8]$$

**Figura 12.** Ajuste al modelo fickiano para tiempos cortos de la DO de melón en glucosa



De la ecuación 8, con  $r = 0.01$  m y  $l = 0.015$  m se obtiene

$$D_e = \left[ \frac{\text{pendiente}}{300.8} \right]^2 \quad [9]$$

para el tratamiento con sacarosa  $D_e = 3.3 \cdot 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s y

para el tratamiento con glucosa  $D_e = 8.7 \cdot 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s

Del valor de las pendientes del ajuste en las figuras 11 y 12 y de los parámetros cinéticos obtenidos anteriormente, se podría inferir que el proceso es más rápido con glucosa, y lo ratifica el valor del coeficiente de difusión efectivo.

## Conclusiones

A un nivel de confianza de 95% y un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los dos procesos de deshidratación osmótica, con base en los datos de fracción de agua y fracción de sólidos solubles de acuerdo a la prueba de Fisher. Sin embargo, para el coeficiente de difusividad efectivo (estando en el mismo orden de magnitud ( $10^{-8}$ ), se podría considerar el tratamiento con glucosa como el tratamiento a elegir para la deshidratación de melón, no obstante, hay que considerar que se presenta una ganancia neta de agua mientras que con sacarosa se presenta una pérdida neta de agua que sería lo recomendable en el proceso.

El comportamiento de los componentes del sistema es contrario en ambos tratamientos, es decir, se presenta una pérdida de agua y una ganancia de sólidos en la muestra sometida a tratamiento. Los mecanismos difusionales u osmóticos son análogos en ambos tratamientos, aunque más marcados para la pérdida de agua que para la ganancia de sólidos. Sin embargo, las ganancias netas hidrodinámicas o capilares tienen comportamiento inverso, es decir, para sacarosa hay pérdida neta de agua y ganancia neta de sólidos, mientras que con glucosa hay ganancia neta de agua y pérdida neta de sólidos.

## Referencias bibliográficas

- Azuara, E., Beristain, C.I. y Gutiérrez, G.F. (1998). A method for continuous kinetic evaluation of osmotic dehydration. *LWT*, 31, 317-321.
- Barat, J.M., Chiralt, A. y Fito, P. (2001). Effect of osmotic solution concentration, temperature and vacuum impregnation pretreatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Food Sci Techn Int*, 0(0), 1-6.
- Cháfer, M., Ortolá, M.D., Chiralt, A. y Fito, P. (2001). Orange peel products obtained by osmotic dehydration. En: Fito, P., Chiralt, A., Barat, J.M., Spiess, W.E.L. y Behnlian, D. *Osmotic dehydration & Impregnation*. 93-108. Tecnom Publishing Co., Inc., U.S.A.
- Chavarro-Castrillón, L.M., Ochoa-Martínez, C.I. y Ayala-Aponte, A. (2006). Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (*Carica papaya L., var. Maradol*). *Cienc. Tecnol. Aliment.* 26(3), 596-603.
- Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Martínez-Monzo, J., Talens, P., Moraga, G., Ayala, A. y Fito, P. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes cryoprotectant effect. *Journal of Food Engineering*, 49 (2-3), 129-135
- Fernades, F.A.N., Rodríguez, S., Gaspareto, O.C.P. y Oliveira, E.L. (2006). Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. *Food Research Internacional*, 39, 492-498.
- Giraldo, G.A., Chiralt, A. y Fito, P. (2005). Deshidratación osmótica de mango (*Mangifera indica*). Aplicación al escarchado. *Ingeniería y Competitividad*, 7, 44-55.
- Mavroudis, N.E., Lee, K.M., Sjöholm, I. y Hallström, B. (2001). Osmotic treatment of apples: Cell death and some criteria for the selection of suitable apple varieties for industrial processing. En: Fito, P., Chiralt, A., Barat, J.M., Spiess, W.E.L. y Behnlian, D. *Osmotic dehydration & Impregnation*. 11-20. Tecnom Publishing Co., Inc., U.S.A.
- Mauro, M.A., de Queiroz, D. y Menegalli, F.C. (2002). Behavior of plant tissue in osmotic solutions. *Journal of Food Engineering*, 56, 1-15.
- Panagiotou, N.M., Karathanos, V.T. y Maroulis, Z.B. (1998). Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 267-284.
- Pfaeffle, M. (2003). Mercado de frutas tropicales Estados Unidos de América. En: *Foro internacional de agronegocios de frutas tropicales*. El Salvador.
- Shi, X.Q., Fito, P. y Chiralt, A. (1995). Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Research Internacional*, 28(5), 445-454.
- Torreggiani, D. y Bertolo, G. (2001). High-quality fruit and vegetable products using combined processes. En: Fito, P., Chiralt, A., Barat, J.M., Spiess, W.E.L. y Behnlian, D. *Osmotic dehydration & Impregnation*. 3-9. Tecnom Publishing Co., Inc., U.S.A.
- Waliszewski, K.N., Delgado, J.L. y García, M.A. (2002). Equilibrium concentration and water and sucrose diffusivity in osmotic dehydration of pineapple slabs. *Drying Technology*, 20(2), 527-538.