

APLICACIÓN DEL MODELO DE PELEG EN EL ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE MASA DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LAMINAS DE MAMEY (*Mammea americana* L.)

APPLICATION OF PELEG'S MODEL TO STUDY MASS TRANSFER DURING OSMOTIC DEHYDRATION OF MAMEY (*Mammea americana* L.) STRIPS

OTONIEL CORZO¹, OSCAR RAMÍREZ², NELSON BRACHO³

Universidad de Oriente. Núcleo de Nueva Esparta. ¹Departamento de Tecnología de Alimentos.

²Área de Química. ³Programa de Estadística.

e-mail: otocorzo@cantv.net

RESUMEN

Se investigó la aplicación del modelo de Peleg para describir y predecir la pérdida de agua y peso en láminas de mamey durante la deshidratación osmótica con soluciones osmóticas a diferentes concentraciones (40-55 °Brix) y temperaturas (40-55 °C). Los altos valores del coeficiente de determinación ($R^2 > 0,98$) indicaron la aceptabilidad del modelo de Peleg para predecir la pérdida de agua y peso. La constante de velocidad varió desde 4,64 hasta 14,73 min (g/g db)⁻¹ y desde 107,79 hasta 178,46 min (g/g db)⁻¹ y la constante de capacidad varió desde 0,239 hasta 0,352 (g/g db)⁻¹ y desde 1,69 hasta 4,28 (g/g db)⁻¹ para el contenido de humedad y la pérdida de peso respectivamente. Las constantes de capacidad para la pérdida de peso y de agua dependen de la temperatura de acuerdo con la ecuación de Arrhenius.

Palabras clave: Modelo de Peleg, deshidratación osmótica, láminas de mamey.

ABSTRACT

The application of Peleg's model was investigated for describing and predicting moisture and mass loss in mamey strips during osmotic dehydration using osmotic solutions at different concentrations (40-55 °Brix) and temperatures (40-55 °C). The high regression coefficients ($R^2 > 0.98$) indicated the acceptability of Peleg's model for predicting both moisture and mass loss. The rate constant ranged from 4.64 to 14.73 min (g/g db)⁻¹ and from 107.79 to 178.46 min (g/g db)⁻¹ for moisture and mass loss, respectively. The capacity constant ranged from 0.239 to 0.352 (g/g db)⁻¹ and from 1.69 to 4.28 (g/g db)⁻¹ for moisture and mass loss, respectively. The rate and capacity constants for moisture and mass loss as a function of temperature followed an Arrhenius relationship.

Key words: Peleg's model, Osmotic dehydration, mamey strips.

INTRODUCCIÓN

El mamey (*Mammea americana* L.) es una fruta originaria de Centroamérica que se cultiva principalmente en el oriente venezolano, específicamente en el estado Nueva Esparta. La piel, fina pero a la vez dura y correaosa, cubre una pulpa de color escarlata encendido que está surcada de hilillos de savia. Tiene un sabor muy dulce y sabroso, se consume preferentemente fresca, pero también se utiliza para elaborar mermeladas, cremas, helados y batidos. Se conserva bien por dos o tres semanas. La producción agrícola depende de las estaciones y del carácter perecedero del producto, lo cual obligan a su rápido procesamiento para obtener productos terminados que puedan ser almacenados; ello conlleva a la necesidad de aplicar técnicas de procesamiento y conservación que permitan aprovechar la producción al máximo y obtener productos estables por períodos de tiempo considerables.

La deshidratación osmótica consiste en la inmersión del alimento sólido, ya sea entero o en piezas, en soluciones acuosas de alta concentración en azúcares y/o sales para provocar al menos dos flujos principales, simultáneos y en contracorriente: el flujo de agua desde el alimento hacia la solución y la transferencia simultánea de soluto desde la solución hacia el alimento. Estos flujos se deben a los gradientes de concentración del agua y soluto, a un lado y otro de las membranas que forman el tejido parenquimático del alimento (Torregiani, 1993). Durante el proceso el contenido de humedad del alimento y de soluto de la solución osmótica cambian hasta lograr un contenido en equilibrio. Considerando la ley de difusión de Fick se han desarrollado modelos para describir la cinética de la deshidratación osmótica de varios alimentos (Panagiotou *et al.* 1998; Calceta *et al.* 2003; Mulet *et al.* 2005; Khin *et al.* 2006; Mayor *et al.* 2006). Peleg (1988) propuso una ecuación para predecir la absorción de agua durante el

remajo de cereales que se ha utilizado igualmente para describir los cambios de humedad durante procesos de hidratación y secado. (Sopade & Kaimur 1999; Maharaj & Sankat 2000; Sanjuán *et al.* 2001; Seyhan *et al.* 2001; Park *et al.* 2002; Turhan *et al.* 2002; Moreira & Xidieh, 2004; Bilbao *et al.* 2005; Moreira *et al.* 2005; Corzo & Bracho, 2006). No hay información sobre el uso del modelo de Peleg en la deshidratación osmótica de frutas tropicales como el mamey. El objetivo de este trabajo fue determinar la aplicabilidad del modelo de Peleg para describir y predecir la transferencia de masa en láminas de mamey durante la deshidratación osmótica a diferentes temperaturas y concentraciones de sacarosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de las muestras

Se utilizaron frutos de mamey (*Mammea americana* L.) recolectado en La Asunción, estado Nueva Esparta, con condiciones de maduración correspondientes al estadio pintón. El mamey fue lavado, pelado y cortado en forma de láminas (N = 175) con dimensiones: ancho de $20,3 \pm 0,2$ mm, largo de $30,2 \pm 0,3$ mm, y espesor de $6,1 \pm 0,4$ mm. El análisis fisicoquímico de las muestras (Tabla 1), se realizó de acuerdo a la metodología descrita en la AOAC (1990).

Tabla 1. Composición fisicoquímica de la pulpa de mamey (*Mammea americana* L.)

Parámetro	Valores*
Humedad	85,30 %
Sólidos solubles	12,5 °Brix
a_w	0,985
pH	4,54

*Valores promedios de ocho determinaciones

El contenido de humedad se determinó colocando las láminas de mamey en una estufa a vacío (0.1 mmHg) y 60°C hasta peso constante; los sólidos solubles mediante un refractómetro manual Abbe, modelo G-0290415 y el a_w utilizando el equipo Rotronic Hygroscop DT.

Deshidratación Osmótica

Al azar se seleccionaron láminas para formar siete grupos de cuatro láminas cada uno, y se determinó la masa de cada una de ellas. Cada grupo experimental se colocó en una celda de cuatro compartimientos con el objeto de evitar la interferencia entre las láminas.

Igualmente se seleccionaron al azar diez láminas y se determinó el contenido de humedad del mamey fresco. Los siete grupos se introdujeron simultáneamente en una solución osmótica de concentración y temperaturas dadas para someterlos a deshidratación osmótica con agitación constante, y posteriormente se extrajo un grupo experimental cada 20 min durante la primera hora, cada 30 min durante la segunda hora y cada 60 min durante las dos horas restantes. Las láminas deshidratadas de cada grupo se escurrieron durante 5 min., se secaron superficialmente con papel absorbente y luego se determinó el peso y el contenido de humedad, individualmente. Este procedimiento se efectuó en cada experiencia a las condiciones correspondientes según un diseño experimental factorial completo 3x3x7 en el cual la temperatura, concentración y tiempo fueron 40, 45, y 50 °C; 40, 45, y 50 °Brix, y 20, 40, 60, 90, 120, 180 y 240 min, respectivamente.

La solución osmótica se preparó según la concentración seleccionada utilizando sacarosa como soluto, manteniendo una proporción entre el líquido y la masa de las láminas de mamey de 20:1 para evitar cambios en la concentración de la solución durante el proceso de deshidratación. La solución osmótica se depositó en un recipiente rectangular dotado de un cabezal de calentamiento marca Julabo, modelo MB, de precisión $\pm 0,02$ °C, y agitación magnética (120 rpm), con la finalidad de que la temperatura y la concentración se mantuvieran constantes y homogéneas en toda la masa de la solución osmótica. Durante el proceso de deshidratación osmótica se hizo un monitoreo de la concentración de sacarosa utilizando el refractómetro manual Abbe.

Modelo de Peleg

La ecuación de Peleg (1988) corresponde a:

$$X_w = X_{w0} \pm \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (1)$$

siendo X_w el contenido de humedad en base seca (g/g db) a un tiempo dado t , X_{w0} el contenido de humedad inicial (g/g db), K_1 la constante de velocidad, y K_2 la constante de capacidad. En la ecuación “±” es “+” si el proceso es absorción y “-” si es desorción o secado. La constante de velocidad K_1 se relaciona con la velocidad de desorción al inicio del proceso, por la expresión:

$$\frac{dX_w}{dt} = -\frac{1}{K_1} \quad (2)$$

La constante de capacidad K_2 se relaciona con la humedad de equilibrio (X_{we}), cuando el tiempo tiende a infinito, por la expresión:

$$X_{we} = X_{w0} \pm \frac{1}{K_2} \quad (3)$$

Linealizando la ecuación (1) se tiene:

$$\frac{t}{X_{w0} - X_w} = K_1 + K_2 t \quad (4)$$

la representación gráfica es una línea recta con ordenada en el origen igual a K_1 y pendiente igual a K_2 .

Similarmente se puede escribir la pérdida de peso como:

$$\frac{M_0 t}{M_0 - M} = K_3 + K_4 t \quad (5)$$

donde M es el peso (g) de la lámina al tiempo t , M_0 es el peso inicial (g), K_3 es la constante de velocidad, y K_4 la constante de capacidad.

La constante de velocidad K_3 se relaciona con la velocidad de pérdida de peso al inicio del proceso, por la expresión:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{M_0}{K_3} \quad (6)$$

La constante de capacidad K_4 se relaciona con el peso en equilibrio (M_e) según:

$$M_e = M_0 \left[1 - \frac{1}{K_4} \right] \quad (7)$$

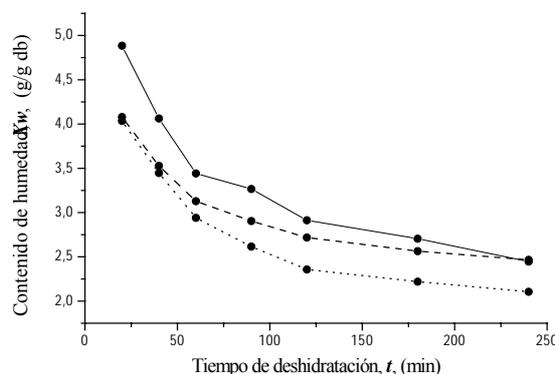


Figura 1. Contenido de humedad en láminas de mamey (*Mammea americana* L.), deshidratadas osmóticamente a 45 °Brix y diferentes temperaturas: 40 °C (—), 45 °C (---) y 50 °C (-.-)

Análisis Estadístico

La base de datos se ajustó al modelo linealizado de Peleg (1988) (Ecs. 4 y 5) por regresión lineal simple para cada combinación de concentración y temperatura de la solución, y los efectos de éstas sobre el valor de las constantes de velocidad y de capacidad se determinaron por análisis de varianza y comparación múltiple según LSD. Mediante regresión lineal múltiple se encontraron modelos para el peso y el contenido de humedad en equilibrio, como una función de la concentración y temperatura. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico Statgraphics 5.1 plus.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aplicabilidad del Modelo de Peleg

En las Figuras 1 y 2 se muestran, a manera de ejemplo las variaciones del contenido de humedad y la pérdida de peso con el tiempo, respectivamente, en las láminas de mamey durante la deshidratación osmótica a 45 °Brix y 40, 45, y 50 °C. Los datos experimentales en el segmento curvilíneo correspondiente a cada transferencia de masa se utilizaron para determinar la bondad del ajuste al modelo de Peleg (1988), a diferentes concentraciones y temperaturas (Figuras 3 y 4). Los valores del coeficiente de determinación (R^2) variaron entre 0,987 y 0,999 y los valores p fueron menores de 0,0001 (Tablas 2 y 3), lo cual sugiere que el modelo de Peleg (1988) se puede utilizar para predecir el contenido de humedad y la pérdida de peso de las láminas de mamey a las condiciones estudiadas.

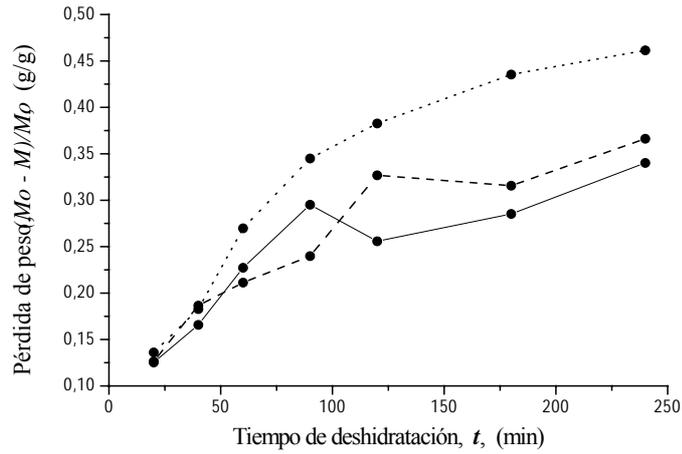


Figura 2. Pérdida de peso en láminas de mamey (*Mammea americana* L.), deshidratadas osmóticamente a 45 °Brix y diferentes temperaturas: 40 °C (—), 45 °C (---) y 50 °C (···).

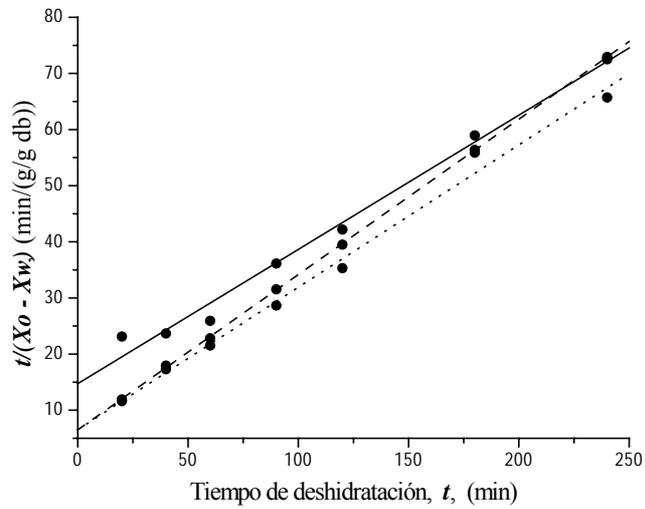


Figura 3. Ajuste del contenido de humedad en láminas de mamey (*Mammea americana* L.), deshidratadas osmóticamente a 45 °Brix y diferentes temperaturas: 40 °C (—), 45 °C (---) y 50 °C (···), a la ecuación de Peleg: $t/(X_o - X_w) = K_1 + K_2 \cdot t$.

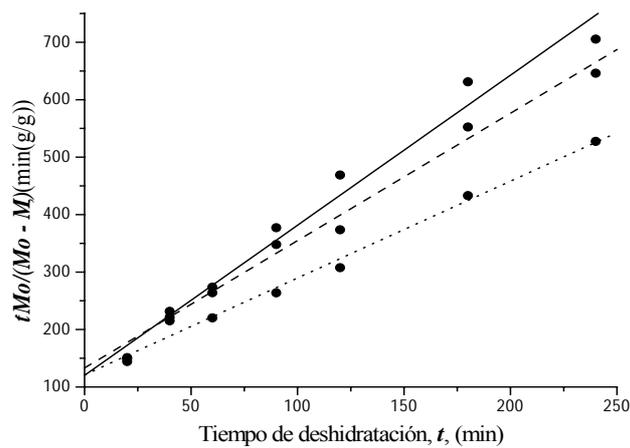


Figura 4. Ajuste de la pérdida de peso en láminas de mamey (*Mammea americana* L.), deshidratadas osmóticamente a 45 °Brix y diferentes temperaturas: 40 °C (—), 45 °C (---) y 50 °C (···), a la ecuación de Peleg: $t \cdot M_o / (M_o - M) = K_3 + K_4 \cdot t$.

Tabla 2. Constantes de velocidad del modelo de Peleg para la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica.

Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	Pérdida de agua		Pérdida de peso	
		K_1 (min(g/g db) ⁻¹)	R ²	K_3 (min)	R ²
40	40	6,19 ± 0,18*	0,999	162,96 ± 7,23*	0,999
	45	6,46 ± 0,53*	0,999	172,81 ± 5,75*	0,998
	50	9,28 ± 0,56*	0,999	139,90 ± 5,51*	0,999
45	40	14,73 ± 1,02*	0,997	107,79 ± 4,58*	0,999
	45	6,50 ± 0,07*	0,999	132,21 ± 17,50*	0,987
	50	6,86 ± 0,15*	0,992	121,06 ± 5,26*	0,986
50	40	4,64 ± 0,08*	0,998	178,46 ± 6,46*	0,999
	45	11,59 ± 0,10*	0,987	129,15 ± 8,27*	0,998
	50	7,83 ± 0,12*	0,998	157,62 ± 2,83*	0,996

Valores de K_1 y K_3 son medias de 8 réplicas. *significativo para $\alpha = 0,0001$.

Tabla 3. Constantes de capacidad del modelo de Peleg para la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica.

Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	Pérdida de agua		Pérdida de peso	
		K_2 (g/g db) ⁻¹	R ²	K_4	R ²
40	40	0,352 ± 0,001*	0,999	4,28 ± 0,05*	0,999
	45	0,272 ± 0,010*	0,999	2,39 ± 0,08*	0,998
	50	0,195 ± 0,005*	0,999	1,86 ± 0,02*	0,999
45	40	0,289 ± 0,005*	0,997	2,80 ± 0,02*	0,999
	45	0,277 ± 0,001*	0,999	2,20 ± 0,10*	0,987
	50	0,244 ± 0,001*	0,992	1,69 ± 0,06*	0,986
50	40	0,297 ± 0,001*	0,998	2,40 ± 0,08*	0,999
	45	0,294 ± 0,001*	0,987	1,98 ± 0,12*	0,998
	50	0,267 ± 0,001*	0,998	1,75 ± 0,02*	0,996

Valores de K_2 y K_4 son medias de 8 réplicas. *significativo para $\alpha = 0,0001$.

Efectos de la Concentración y Temperatura

El análisis de varianza mostró que los valores de la constante de velocidad tanto para la pérdida de humedad como para la pérdida de peso, dependían significativamente de la interacción entre la concentración y temperatura ($p < 0,05$). Los efectos de la concentración sobre las constantes de velocidad tanto para la pérdida de agua como de peso, eran mezclados y dependían de la temperatura. Estas constantes están relacionadas a la transferencia de masa al inicio del proceso, así al disminuir el valor de K_1 , mayor es la velocidad inicial de pérdida de agua. Estos resultados concuerdan con los encontrados por otros investigadores en la deshidratación osmótica de diferentes alimentos (Raoult-Wack, 1994; Rastogi & Raghavarao, 1997; Rastogi & Niranjana, 1998; Simal *et al.* 1998; Rastogi *et al.* 1999). Aumentos en la transferencia de masa al incrementarse la temperatura se deben a que altas temperaturas promueven mayor difusión dentro del alimento del agua causadas por

el hinchamiento y plastificación de la membrana celular y mejores características de transferencia de masa en la superficie del producto debido a la menor viscosidad del medio osmótico (Le Maguer, 1988).

El análisis de varianza mostró que los valores de la constante de capacidad tanto para la pérdida de humedad como para la pérdida de peso, dependían significativamente de la concentración, temperatura y su interacción ($p < 0,05$). A concentración constante, K_2 y K_4 disminuyeron al aumentarse la temperatura, y a temperatura constante, estas constantes disminuyeron al incrementarse la concentración.

La dependencia de la constante de capacidad con la temperatura se puede describir por el modelo de Arrhenius:

$$\ln K = \ln k_0 - \frac{Ea}{RT} \quad (8)$$

Siendo k_0 el factor de frecuencia (adimensional), E_a la energía de activación (kJ/mol), R la constante universal de los gases (8,314 kJ/mol K) y T la temperatura absoluta

(K). La representación gráfica de $\ln K$ vs. $1/T$ (Figura 5 y 6) corresponde a una línea recta con pendiente negativa igual a E_a/R y ordenada en el origen igual a $\ln k_0$.

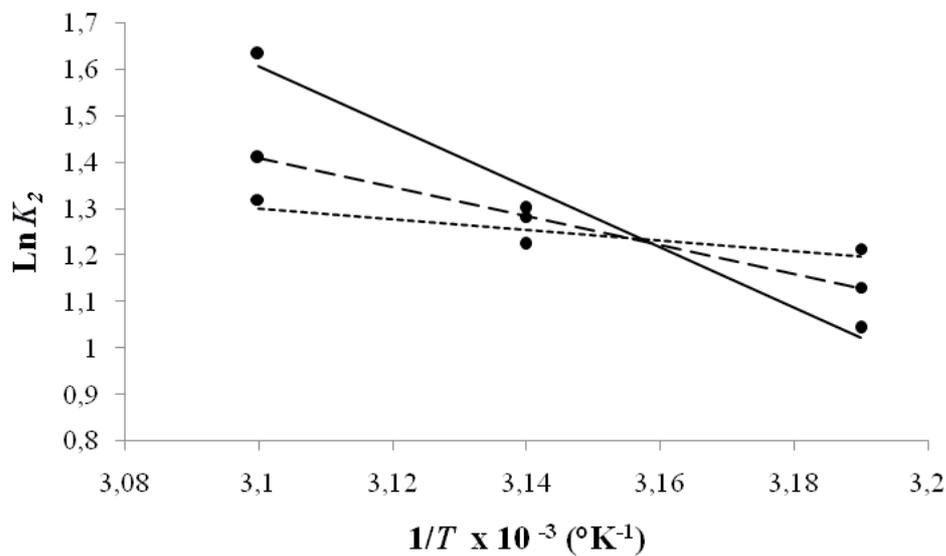


Figura 5. Ajuste de la constante de capacidad, K_2 , al modelo de Arrhenius, durante la deshidratación osmótica de láminas de mamey a 40 °Brix (-), 45 °Brix (- -) y 50 °Brix (- · -).

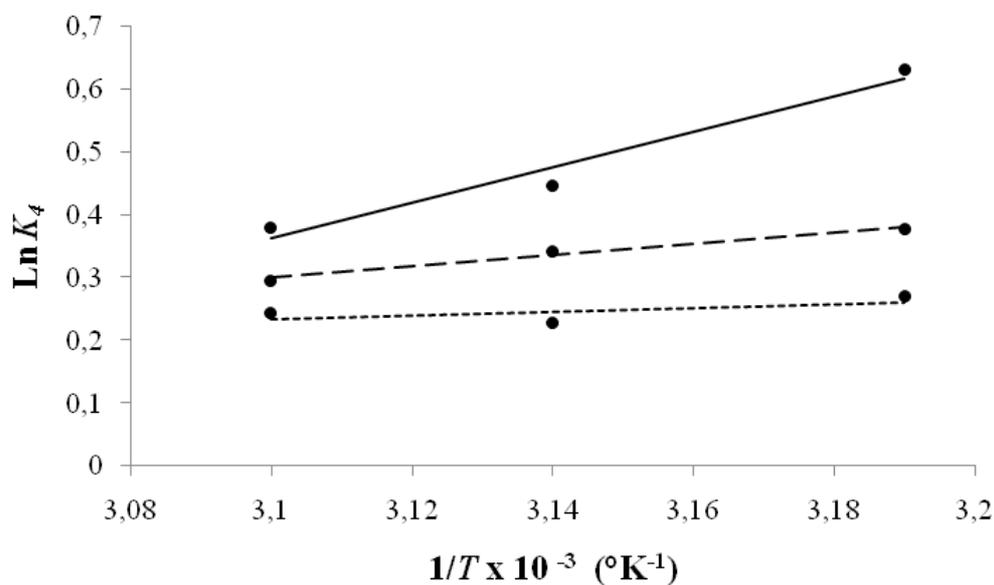


Figura 6. Ajuste de la constante de capacidad, K_4 , al modelo de Arrhenius, durante la deshidratación osmótica de láminas de mamey a 40 °Brix (-), 45 °Brix (- -) y 50 °Brix (- · -).

Los valores del coeficiente de determinación ($R^2 > 0,92$) indicaron que el valor de la constante de capacidad para la pérdida de humedad varía con la temperatura de acuerdo con el modelo de Arrhenius, para todas las concentraciones, mientras que para la constante de capacidad para la pérdida de peso ocurre sólo para 40 y 50 °Brix (Tabla 4). El mayor valor de E_a indica mayor sensibilidad a la temperatura, luego los cambios en el

valor de la constante de capacidad para la pérdida de peso y de agua son más sensibles a la temperatura para la concentración de 40 °Brix ($E_a = 70,2$ kJ/mol y $49,5$ kJ/mol, respectivamente) y menos sensibles a la concentración de 50 °Brix ($E_a = 26,7$ kJ/mol y $18,5$ kJ/mol, respectivamente); por otra parte, la constante de capacidad para la pérdida de peso es más sensible que la de pérdida de agua puesto que los valores de la energía de activación son mayores.

Tabla 4. Valores de la energía de activación (E_a) y del factor de frecuencia ($\ln(k_o)$) para las constantes de capacidad a diferentes concentraciones de la solución osmótica.

Parámetro	Concentración (°Brix)		
	40	45	50
K_4			
$\ln(k_o)$	25,6 ± 1,9	15,4 ± 0,7	9,4 ± 0,9
E_a (kJ/mol)	70,2 ± 2,7	43,5 ± 0,3	26,7 ± 0,2
R^2	0,951	0,959	0,918
K_2			
$\ln(k_o)$	20,1 ± 0,7	18,5 ± 0,5	4,6 ± 0,9
E_a (kJ/mol)	49,5 ± 1,8	23,6 ± 0,3	8,9 ± 0,9
R^2	0,986	0,546	0,926

Condiciones de Equilibrio

Los pesos (M_e) y los contenidos de humedad (X_{we}) en equilibrio calculados a partir de las ecuaciones (3) y (7) se muestran en la Tabla 4. A temperatura constante, el contenido de agua y el peso en equilibrio disminuyeron ($p < 0,05$) al aumentar la concentración ($p < 0,05$). A concentración constante, el contenido de agua y el peso en equilibrio disminuyeron ($p < 0,05$) al incrementarse la temperatura. Esto se puede explicar por el hecho de que en el proceso hay un transporte simultáneo de agua desde el alimento hacia la solución osmótica y de soluto desde la solución hacia

el producto, con lo cual se tiene tanto la disminución de agua como de peso, hasta lograr un equilibrio. El punto de equilibrio se alcanza cuando la actividad de agua del alimento y de la solución son iguales. La actividad de agua disminuye tanto por pérdida de agua como por ganancia de soluto. El transporte relativo para la pérdida de agua y la ganancia de soluto fue explicado e identificado por Rahman y Lamb (1990) y Parjoko *et al.* (1996). Ellos demostraron que el agua se puede difundir a través de la membrana celular del alimento más fácilmente que el soluto, y que, a temperaturas altas, el equilibrio se logra más por el flujo de agua que por el de soluto, obteniéndose así una mayor pérdida de agua y de peso.

Tabla 5. Contenidos de humedad y peso en equilibrio a diferentes condiciones de concentración y temperatura.

Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	Humedad en equilibrio (g /g db)	Peso en equilibrio (g)
40	40	3,056 ± 0,008	2,951 ± 0,033
	45	2,313 ± 0,113	1,825 ± 0,172
	50	1,876 ± 0,106	1,502 ± 0,103
45	40	1,576 ± 0,082	1,945 ± 0,143
	45	2,143 ± 0,015	1,729 ± 0,217
	50	1,658 ± 0,012	1,273 ± 0,167
50	40	1,416 ± 0,005	1,706 ± 0,163
	45	1,121 ± 0,005	1,448 ± 0,179
	50	1,106 ± 0,012	1,156 ± 0,159

Valores del contenido de humedad y peso en equilibrio son medias de 8 réplicas.

Modelación de las condiciones de equilibrio

$$\ln M_e = 4,317 - 0,035 (C) - 0,050 (T) \quad (10)$$

Por regresión lineal múltiple se encontraron los siguientes modelos para predecir los contenidos de humedad y el peso en equilibrio, en función de la concentración (C) y temperatura (T) de la solución osmótica:

$$\ln X_{we} = 4,596 - 0,067 (C) - 0,023 (T) \quad (9)$$

Los modelos explicaron el 83,4 y 78,4 % de la variabilidad en X_{we} y M_e con un 99,9 % de confianza, respectivamente (Tabla 6). Con estos modelos se puede calcular el peso y el contenido de humedad en equilibrio en láminas de mamey deshidratadas en soluciones de sacarosa con concentraciones entre 40 y 50 °Brix y temperaturas entre 40 y 50 °C.

Tabla 6. Regresión lineal múltiple para el contenido de humedad y el peso en equilibrio en función de la concentración (C) y temperatura (T): $\ln (X_{we} \text{ o' } M_e) = a + b(C) + c (T)$.

Fuente de variación	X_{we}		M_e	
	Estimado	Error estándar	Estimado	Error estándar
Constante	4,596*	0,128	4,317*	0,129
C	-0,067*	0,002	- 0,035*	0,002
T	-0,023*	0,002	- 0,050*	0,002
R^2	0,834		0,784	

* Valor $p < 0,001$

CONCLUSIONES

La ecuación de Peleg predice adecuadamente el contenido de humedad y el peso de las láminas de mamey deshidratadas en soluciones osmóticas de sacarosa con concentraciones entre 40 y 50 °Brix y temperaturas entre 40 y 50 °C. Las constantes de capacidad para la pérdida de agua y de peso varían de acuerdo con la temperatura según el modelo de Arrhenius, independientemente de la concentración de la solución osmótica. El contenido de humedad y el peso en equilibrio, determinados a partir del modelo de Peleg, se pueden predecir mediante una función de la concentración y la temperatura de la solución osmótica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. (15th ed.). Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- BILBAO-SAINZ, C.; ANDRÉS, A.; FITO, P. 2005. Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions. *Journal of Food Engineering*. 68(3), 369-376.
- CALCETA A.N.; AGUERRE R. J.; SUÁREZ C. 2003. Study of some factors affecting water absorption by amaranth grain during soaking. *Journal of Food Engineering*. 60(4): 391-396.
- CORZO, O.; BRACHO, N. 2006. Application of Peleg model to study mass transfer during osmotic dehydration of sardine sheets. *Journal of Food Engineering*. 75(4), 535-541.
- KHIN, M. M.; ZHOU, W.; PERERA, C. O. 2006. A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*. 77(1), 84-95.
- LE MAGUER, M. 1988. *Osmotic dehydration: review and future directions*. In Proceeding of International Symposium Progress in Food Preservation Processes. Ceria, Brussels, Belgium, I, pp. 283-309.
- MAHARAJ, V.; SANKAT, C. K. 2000. The rehydration characteristics and quality of dehydrated dasheen leaves. *Canadian Agricultural Engineering*, 42(2), 81-85.
- MAYOR, L.; MOREIRA, R.; CHENLO, F.; SERENO, A. M. 2006. Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. *Journal of Food Engineering*. 74(2): 253-262.
- MOREIRA, R.; CHENLO, F.; VÁZQUEZ, M. J.; CAMEÁN, P. 2005. Sorption isotherms of turnip top leaves and stems in the temperature range from 298 to 328 K. *Journal of Food Engineering*. 71(2), 193-199.

- MOREIRA, P.; XIDIEH, F. E. 2004. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 291-295.
- MULET, A.; BLASCO, M.; GARCÍA-REVERTER, J.; GARCÍA-PÉREZ, J. V. 2005. Drying Kinetics of Curcuma longa Rhizomes. *Journal of Food Science*, 70(5): E318-323.
- PANAGIOTOU, N.M.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. 1998. Mass transfer in osmotic dehydration of some fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 267-284.
- PARJOKO, M.; RAHMAN, S.; BUCKLE, K. A.; PERERA, C. 1996. Osmotic dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 29, 452-459.
- PARK, K. J.; BIN, A.; REIS, F. P., BRANDINI, T.H. K. 2002. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.) *Journal of Food Engineering*: 52(3), 293-298.
- PELEG, M. 1988. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science* 53: 1216-1219.
- RAHMAN, M.S.; LAMB, J. 1990. Osmotic dehydration of pineapple. *Journal of Food Science and Technology*, 27, 150-152.
- RAOULT-WACK, A. L. 1994. Advances in osmotic dehydration. *Trends in Food Science and Technology*, 5, 255-260.
- RASTOGI, N. K.; ESHTISGHI, M. N.; KNORR, D. 1999. Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electrical field pulse pretreated carrots. *Journal of Food Science*. 64, 1020-1023.
- RASTOGI, N. K.; NIRANJAN, K. 1998. Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *Journal of Food Science*, 63(3), 508-511.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. 1997. Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration. *Journal of Food Engineering*, 34, 429-440.
- SANJUÁN, N., CÁRCEL, J. A.; CLEMENTE, G.; MULET A. 2001. Modelling of the rehydration process of broccoli florets. *European Food Research and Technology*, 212 (4), 449-453.
- SEYHAN-GURTAS, F.; AK, M. M.; EVRANUZ, E. O. 2001. Water diffusion coefficients of selected legumes grown in Turkey as affected by temperature and variety. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25, 297-304.
- SIMAL, S.; BENEDITO, J.; SÁNCHEZ, E. S.; ROSELLO, C. 1998. Use of ultrasound to increase mass transport rate during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 36, 323-336.
- SOPADE, P. A., KAIMUR, K. 1999. Application of Peleg's equation in desorption studies of food systems: a case study with sago (*Metroxylon Sagu rottb.*) starch. *Drying Technology*, 17, 975-989.
- TORREGGIANI, D. 1993. Osmotic dehydration in fruits and vegetables processing. *Food Research International*, 26: 59-68.
- TURHAN, M.; SAYAR, S.; GUNASEKARAN, S. 2002. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *Journal of Food Engineering*, 53, 153-159.