

## COEFICIENTES DE DIFUSIÓN EFECTIVA DEL AGUA EN LÁMINAS DE MAMEY (*Mammea americana*) DESHIDRATADAS OSMÓTICAMENTE A DIFERENTES TEMPERATURAS Y CONCENTRACIONES DE SACAROSA

### EFFECTIVE WATER DIFFUSION COEFFICIENTS FOR OSMOTICALLY DEHYDRATED MAMEY (*Mammea americana*) SHEETS AT DIFFERENT TEMPERATURES AND SUCROSE CONCENTRATIONS

OSCAR RAMÍREZ<sup>1</sup> Y OTONIEL CORZO<sup>2</sup>

Universidad de Oriente. Núcleo Nueva Esparta, <sup>1</sup>Departamento de Ciencias. Área de Química

<sup>2</sup>Tecnología de Alimentos. Guatamare

e-mail: ramirezo@ne.uo.edu.ve ; otocorzo@cantv.net

#### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el coeficiente de difusión efectiva ( $D_e$ ) del agua en la deshidratación osmótica de láminas de mamey (*Mammea americana*), a diferentes concentraciones de sacarosa (40, 45, 50, 55 y 60 °Brix) y temperaturas (35, 40, 45, 50 y 55 °C). Láminas de mamey se deshidrataron a diferentes condiciones de concentración y temperatura durante tiempos comprendidos entre 20 y 240 min. La concentración de sólidos solubles se determinó tanto en las láminas frescas como en las deshidratadas. La fuerza impulsora se ajustó por regresión lineal a la ecuación de difusión de Fick ( $R^2 > 0,82$ ) encontrándose valores de  $D_e$  entre  $8,9 \times 10^{-10}$  y  $9,9 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. El análisis de varianza arrojó diferencias significativas en el coeficiente de difusión efectiva del agua ( $p < 0,05$ ) debido a la temperatura. La ecuación de Arrhenius explicó el 88,06% de la variabilidad con un nivel de confianza del 99%.

PALABRAS CLAVE: mamey, coeficiente de difusión, deshidratación osmótica

#### ABSTRACT

This paper purports to ascertain the effective water diffusion coefficient ( $D_e$ ) of mamey (*Mammea americana*) sheets subject to osmotic dehydration at different conditions of sucrose concentrations (40, 45, 50, 55, and 60° Brix) and temperatures (35, 40, 45, 50, and 55° C). Mamey sheets were dehydrated at different concentrations and temperatures for periods ranging from 20 to 240 minutes. The soluble solid concentrations for both fresh and dehydrated mamey sheets were determined. The driving force was adjusted to Ficks's Diffusion Equation by linear regression ( $R^2 > 0.82$ ),  $D_e$  yielding values between  $8.9 \times 10^{-10}$  and  $9.9 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. On account of the temperature, the variance analysis bore out significant differences ( $p < 0.05$ ) in the water's effective diffusion coefficient, and the Arrhenius Equation explained the 88.06%  $D_e$  variability with a 95% confidence level.

KEY WORDS: mamey, diffusion coefficient, osmotic dehydration

#### INTRODUCCIÓN

El proceso de industrialización de las frutas se encuentra limitado por dos factores muy importantes: la producción agrícola que depende de las estaciones y el carácter perecedero del producto, los cuales 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 (Fernández, 1997). El programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), capítulo Venezuela, inició en 1994 un estudio sobre el proceso de deshidratación osmótica de las diferentes frutas del país

que potencialmente pudieran someterse a esta forma de conservación, siendo una de ellas el mamey que se cultiva principalmente en el oriente venezolano, específicamente en el estado Nueva Esparta. La deshidratación osmótica consiste en la inmersión del alimento sólido, ya sea entero o en piezas, en soluciones acuosas de alta concentración en solutos (fundamentalmente azúcar y sal) 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, 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). Algunas investigaciones se han realizado considerando que en el proceso de

deshidratación osmótica existe una difusión molecular del agua como lo propuso Le Maguer (1988) y se han encontrado valores de los coeficientes de difusión efectiva del agua en piña (Beristain *et al.*, 1990), en manzanas (Mercado, 1990), en uvas (Guarda *et al.*, 1994), en melón (Marulanda, 1998), y en sardina (Núñez, 1999; Rodríguez y Vásquez, 2000) entre otros alimentos. La velocidad de difusión del agua depende varios factores tales como la temperatura y concentración de la solución osmótica, el tamaño y la geometría del alimento, la relación solución a masa de alimento y la agitación de la solución (Raoult-Wack *et al.*, 1989; Torreggiani, 1993; Fito 1994; Raoult-Wack, 1994; Rastogi y Raghavarao, 1997; Rastogi y Niranjani, 1998). Como la velocidad de transferencia de agua depende del coeficiente de difusión efectivo, se hace necesario determinar su valor para un producto que se desee deshidratar osmóticamente, ya que su conocimiento permitirá definir las condiciones del proceso tales como el tiempo de deshidratación, la concentración de la solución osmótica y su dimensión característica. Los objetivos de esta investigación fueron determinar el coeficiente de difusión efectiva del agua en láminas de mamey, cuando se deshidratan osmóticamente a diferentes temperaturas y concentraciones de sacarosa, y analizar su dependencia con las condiciones de deshidratación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Preparación de las Muestras

Para la realización de este trabajo se utilizó mamey (*Mammea americana*) recolectado en un sembradío ubicado en el cerro El Copey, La Asunción, Estado Nueva Esparta, con condiciones de maduración correspondientes al estadio pintón.

El mamey fue lavado, pelado y cortado en forma de láminas cuyas dimensiones fueron medidas con un vernier. Las láminas tenían un ancho de  $20,3 \pm 0,2$  mm ( $N = 175$ ), largo de  $30,2 \pm 0,3$  mm, y un espesor de  $6,1 \pm 0,4$  mm. Se escogió esta forma geométrica porque permitía obtener dimensiones más precisas, eran más fáciles de cortar y porque existe una expresión matemática que relaciona su forma con los parámetros que se analizaron en el desarrollo de este trabajo. De las láminas cortadas en cada experiencia, se seleccionaron cuatro al azar y se le determinó a cada una su concentración inicial de soluto (°Brix). El resto de las muestras se colocó sobre el plato perforado de un desecador que contenía una solución isotónica y se mantuvo herméticamente cerrado hasta el inicio de la experiencia. La solución isotónica se preparó utilizando sacarosa como soluto, el cual se disolvió en agua para lograr la concentración igual a la del mamey. El

objetivo de preparar una solución isotónica es mantener un ambiente con humedad relativa similar a la actividad de agua del mamey y en este ambiente colocar las muestras mientras se prepara y se da inicio a la corrida experimental.

### Deshidratación Osmótica

En una cesta, con cuatro divisiones, construida con tela metálica, se colocaron cuatro muestras de mamey seleccionadas al azar, para constituir un grupo experimental. De igual forma se prepararon siete grupos experimentales para realizar el proceso de deshidratación. La solución osmótica se colocó en un baño termostataado, y una vez que la solución osmótica alcanzó la temperatura deseada se introdujeron simultáneamente las siete cestas metálicas, teniendo el cuidado de que las muestras quedaran totalmente sumergidas en la solución. A intervalos de 20 min para la primera hora, de 30 min para la segunda hora y de 60 min para la tercera y cuarta hora del tratamiento, se extrajo un grupo experimental. Las láminas de mamey fueron escurridas durante 5 min y luego se secaron ligeramente sobre papel absorbente para eliminar el exceso de solución osmótica adherida, e inmediatamente se determinó la concentración de sólidos solubles (°Brix) en cada una, utilizando un refractómetro manual Abbe, modelo G-0290415. Este procedimiento se realizó para concentraciones de la solución osmótica de 40, 45, 50, 55 y 60 °Brix, temperaturas de 35, 40, 45, 50 y 55 °C, tiempos de 20, 40, 60, 90, 120, 180 y 240 min, de acuerdo a un diseño factorial completo  $5 \times 5 \times 7$ . Durante el proceso de deshidratación osmótica se monitoreó la concentración de sacarosa utilizando el refractómetro manual, y se controló la evaporación colocando una tapa metálica para cubrir las dos terceras parte de la superficie abierta del baño termostataado.

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 forrado en anime para su aislamiento térmico, dotado de un cabezal de calentamiento marca Julabo, modelo MB, de precisión  $\pm 0,02$  °C, y agitación magnética, con la finalidad de que la temperatura y la concentración se mantuvieran constantes y homogéneas en toda la masa de la solución osmótica.

### Determinación del Coeficiente de Difusión Efectiva

El gradiente de concentración de soluto existente entre el producto y la solución osmótica, generan una fuerza

impulsora para el movimiento del agua desde el alimento hacia la solución cuyo valor está dado por la ecuación propuesta por Fito *et al.* (1994):

$$Y = \frac{(X_t^{SS} - Z_{s.o.})}{(X_o^{SS} - Z_{s.o.})} \quad (1)$$

Donde  $Y$  es la fuerza impulsora reducida,  $X_o^{SS}$  es la fracción inicial en peso de sólidos solubles en el alimento,  $X_t^{SS}$  es la fracción en peso de sólidos solubles en el alimento al tiempo  $t$ , y  $Z_{s.o.}$  es la fracción en peso de sólidos solubles en la solución osmótica.

De acuerdo a la ley de difusión de Fick y simplificando su expresión, la fuerza impulsora está relacionada con el tiempo de deshidratación osmótica ( $t$ ) por la ecuación (Fito *et al.* 1994):

$$\ln(Y) = A + B t \quad (2)$$

Donde  $A$  y  $B$  son constantes. La constante  $B$  está relacionada con el coeficiente de difusión efectiva, para alimentos en forma de lámina infinita, por la ecuación propuesta por Crank (1975):

$$D_e = \frac{4e^2 B}{\pi^2} \quad (3)$$

Donde  $D_e$  es el coeficiente de difusión efectiva del agua, y  $e$  el espesor de la lámina.

### Tratamiento Estadístico

El coeficiente de difusión del agua a diferentes temperaturas y concentraciones de la solución osmótica, se obtuvo ajustando por regresión lineal simple los datos de la concentración de sólidos solubles en las láminas obtenidos en el proceso de deshidratación osmótica y el tiempo de inmersión, a la ecuación (2) y luego reemplazando el valor de la constante  $B$  en la ecuación (3). La dependencia del coeficiente de difusión con la concentración y temperatura de la solución osmótica fue analizada aplicando un análisis de varianza multifactorial. Mediante regresión lineal simple se ajustaron los valores del coeficiente de difusión del agua a la ecuación de Arrhenius para explicar su dependencia con la temperatura. Todos los análisis fueron realizados utilizando el paquete estadístico Statgraphics Plus versión 5.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Determinación del Coeficiente de Difusión Efectiva

Con los datos de concentración de sacarosa en la lámina de mamey, para cada tiempo de deshidratación a unas condiciones dadas de concentración y temperatura de la solución osmótica, se determinaron los valores de la fuerza impulsora (Ec.1). Aplicando regresión lineal, los datos de la fuerza impulsora para cada corrida experimental se ajustaron a la ecuación (2), obteniéndose los valores de las constantes de la ecuación mostrados en la Tabla 1. La ley de Fick simplificada explica entre el 82,6 y el 97,7% de la variabilidad de la fuerza impulsora con el tiempo de deshidratación, con un 95% de nivel de confianza.

De la constante  $B$  correspondiente a los ajustes, se obtuvieron los valores del coeficiente de difusión efectiva del agua para cada temperatura y concentración de la solución osmótica según la ecuación (3). En la Tabla 2 se muestran los coeficientes de difusión efectiva del agua calculados a partir de los ajustes que tuvieron significado estadístico ( $p < 0,05$ ;  $R^2 > 0,80$ , falta de ajuste  $> 0,05$ ). Manteniendo la concentración de la solución osmótica constante, para cada incremento de temperatura, existe un aumento ( $p < 0,05$ ) en el coeficiente de difusión efectiva del agua ( $D_e$ ). Manteniendo la temperatura constante, a medida que se incrementa la concentración de la solución osmótica, no cambia ( $p > 0,05$ ) el coeficiente de difusión efectiva  $D_e$  (Tabla 3). Beristain *et al.* (1990) en la deshidratación de rodajas de piña, Azuara *et al.* (1992) en la deshidratación osmótica de cilindros de manzana y Guarda *et al.* (1994) en la deshidratación osmótica de uvas, encontraron igualmente que el valor del coeficiente de difusión del agua aumentaba al incrementarse la temperatura de la solución osmótica.

### Efecto de la Temperatura en el Coeficiente de Difusión Efectiva del Agua

Para explicar la dependencia del coeficiente de difusión efectiva del agua ( $D_e$ ) con la temperatura, se utilizó la ecuación de Arrhenius:

$$D_e = D_o \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

$$\ln(D_e) = \ln(D_o) - \frac{E_a}{RT} \quad (5)$$

Donde  $D_o$  es el factor de Arrhenius;  $E_a$  es la energía de activación,  $R$  es la constante universal de los gases y  $T$  es la temperatura absoluta de la solución ( $^{\circ}\text{K}$ ). Aplicando

Tabla 1. Análisis de regresión de la fuerza impulsora en la deshidratación de láminas de mamey a diferentes tiempos y condiciones de la solución osmótica [ $\ln(Y) = A + Bt$ ].

Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	Parámetro	ErrorEstándar	t	Valor p	R <sup>2</sup>	Falta de ajuste
40	35	A = -0,1644	0,0199	-9,768	0,0001	0,903	0,058
		B = -0,0042	0,00015	-30,94	0,0002		
	40	A = -0,1152	0,02473	-3,187	0,0037	0,971	0,075
		B = -0,0057	0,00019	-29,85	0,0001		
	45	A = -0,1272	0,03709	-3,416	0,0021	0,959	0,100
		B = -0,0071	0,00028	-24,65	0,0004		
50	A = 0,0162	0,03070	0,5304	0,0406	0,967	0,527	
	B = -0,0094	0,00040	-23,09	0,0000			
55	A = 0,1708	0,03837	4,454	0,0002	0,936	0,062	
	B = -0,0127	0,00038	-33,26	0,0001			
45	35	A = -0,0805	0,02547	-3,162	0,0040	0,915	0,071
		B = -0,0049	0,00019	-25,09	0,0003		
	40	A = 0,0217	0,02415	0,7346	0,0418	0,909	0,950
		B = -0,0076	0,00032	-19,76	0,0001		
	45	A = 0,0237	0,02128	0,7420	0,0152	0,950	0,060
		B = -0,0083	0,00024	-32,80	0,0001		
50	A = 0,0325	0,02535	3,240	0,0032	0,838	0,525	
	B = -0,0110	0,00020	-15,30	0,0002			
55	A = 0,0947	0,06630	1,4282	0,0070	0,943	0,035	
	B = -0,0126	0,00066	-19,078	0,0000			
50	35	A = 0,0475	0,02518	4,653	0,0001	0,924	0,056
		B = -0,0050	0,00019	-26,60	0,0002		
	40	A = 0,0689	0,03000	2,294	0,0317	0,926	0,064
		B = -0,0046	0,00030	-15,36	0,0001		
	45	A = 0,7910	0,02887	27,404	0,0000	0,877	0,025
		B = -0,0036	0,00028	-12,56	0,0000		
50	A = 0,0721	0,02573	9,033	0,0105	0,976	0,841	
	B = -0,0142	0,00025	-52,99	0,0001			
55	A = -0,0045	0,00322	-1,255	0,0125	0,946	0,028	
	B = -0,0072	0,00072	-45,28	0,0003			
55	35	A = -0,0342	0,02327	-1,468	0,0153	0,973	0,070
		B = -0,0055	0,00017	-30,701	0,0002		
	40	A = 0,0913	0,03118	0,732	0,0461	0,909	0,068
		B = -0,0077	0,00024	-32,80	0,0001		
	45	A = 0,1180	0,03321	-3,594	0,0350	0,954	0,675
		B = -0,0092	0,00025	-29,42	0,0001		
50	A = 0,0650	0,01452	3,452	0,0032	0,902	0,009	
	B = -0,0065	0,00028	-20,32	0,0001			
55	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	
60	35	A = 0,0727	0,01582	4,600	0,0155	0,967	0,823
		B = -0,0068	0,00021	-32,296	0,0002		
	40	A = 0,1090	0,01859	5,859	0,0006	0,977	0,361
		B = -0,0079	0,00032	-24,77	0,0002		
	45	A = 0,8255	0,02518	-3,54	0,0032	0,854	0,045
		B = -0,0036	0,00019	-28,54	0,0002		
50	A = 0,1235	0,02932	-3,326	0,0023	0,826	0,078	
	B = -0,0081	0,00020	-24,52	0,0001			
55	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	

Valor p < 0,05 indica efecto significativo a  $\alpha = 0,05$

Tabla 2. Valores del coeficiente de difusión efectiva del agua,  $D_e$ , en la deshidratación osmótica del mamey, cortado en forma laminar, a diferentes condiciones de temperatura y concentración de la solución osmótica, calculado con la ecuación:  $D_e = 4e^2 B/\pi^2$ .

Concentración de la Solución Osmótica(°Brix)	Temperatura de la Solución Osmótica(°C)	Coefficiente de Difusión Efectiva del agua, $D_e \times 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s)
40	35	9,505
	40	9,857
	45	9,875
	50	9,884
	55	9,675
45	35	9,334
	40	9,528
	45	9,661
	50	9,154
	55	9,586
50	35	9,514
	40	9,622
	45	9,879
	50	9,815
	55	9,257
55	35	8,884
	40	9,252
	45	9,585
	50	9,504
	55	-
60	35	9,675
	40	9,880
	45	8,880
	50	9,020
	55	-

Tabla 3. Análisis de varianza para el coeficiente de difusión efectiva del agua  $D_e$  en el mamey, cortado en forma laminar, deshidratado osmóticamente a diferentes temperaturas y concentraciones de la solución de sacarosa.

Fuente de variación	Grados de libertad	F	Valor p
Efectos Principales			
°Brix	4	1,02	0,4318
Temperatura	4	7,74	0,0020
Residual	13		
<b>Total (Corregido)</b>	<b>21</b>		

Valor p <0,05 indica efecto significativo a  $\alpha = 0,05$

regresión lineal simple para el  $\ln(D_e)$  y el inverso de la temperatura (1/T) se obtuvo que la ecuación de Arrhenius explicaba el 88,06% de la variabilidad del coeficiente de difusión efectiva del agua con la temperatura, con un 95% de nivel de confianza y no presentaba problema de autocorrelación (Durbin-Watson = 1,48; p = 0,085) ni de falta de ajuste. La ecuación resultante de este ajuste se puede escribir como:

(5)

$$\begin{aligned} \text{siendo, } E_a/R &= 5.400 \text{ (°K);} \\ R &= 8,3144 \text{ J/(mol °K);} \\ E_a &= 44.902 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

El conocimiento de los valores del coeficiente de difusión efectiva a las concentraciones y temperaturas analizadas en este estudio y su dependencia con la temperatura, permite definir las condiciones de la deshidratación osmótica tales como el tiempo de deshidratación, la concentración de la solución osmótica y su dimensión característica.

Tabla 4. Regresión lineal de los valores del coeficiente de difusión efectiva del agua en función de la temperatura según la ecuación de Arrhenius.

Parámetro	Estimado	Error Estándar	t	Valor p
Constante	15	1,68098	8,9168	<0,0001
1/Temperatura	- 5.400	531,529	- 10,1603	<0,0001

Durbin-Watson = 1,48 (p = 0,085)

Falta de ajuste (p = 0,106)

R<sup>2</sup> = 0,8806

## CONCLUSIONES

El coeficiente de difusión efectiva del agua ( $D_e$ ) en la deshidratación osmótica del mamey (*Mammea americana*), cortado en forma laminar, es constante para el rango de concentraciones de la solución de sacarosa entre 40 y 60 °Brix, pero varía con la temperatura de la solución osmótica en el rango de 35 °C a 55 °C. La dependencia del coeficiente de difusión del agua con la temperatura se puede explicar mediante la ecuación de Arrhenius con un 95% de nivel de confianza. Se dispone de una información que permitirá definir las condiciones adecuadas para la deshidratación osmótica de láminas de mamey.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZUARA, E., CORTÉS, R., GARCÍA, H. Y BERISTAIN, C. 1992. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick second law. *Int. J. Food Sci.* 27: 409-418.
- BERISTAIN, C., AZUARA, E., CORTÉS, R. Y GARCÍA, H. 1990. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *J. Food Sci.* 25: 576-582.
- CRANK, J. 1975. *The Mathematics of Diffusion*. Clarendon Press. Oxford.
- FERNÁNDEZ, M. 1997. Conservación del mamey (*Mammea americana*) mediante la aplicación de métodos combinados. Trabajo presentado ante el Departamento de Tecnología De Alimentos para optar al título de Licenciado en Tecnología de Alimentos. Universidad de Oriente. Nueva Esparta.
- FITO, P. 1994. Mass transfer during osmotic dehydration of banana: fickian diffusion in cylindrical configuration. *J. Food Eng.* 31: 423-432.
- FITO, P., ANDRÉS, A., PASTOR, R. AND CHIRALT, A. 1994. Vacuum osmotic dehydration of fruits. Minimal processing of foods and process Optimization. An interface. R.P. Singh y F.A.R. Oliveira (eds.), CRC Press: 117-121.
- GUARDA, A., ABUGOCH, L., BISCHOFF, S. AND CAMELIO, A. 1994. Osmotic dehydration process of grapes. *ISOPOW*. 2(4):80-85.
- LE MAGUER, M. 1988. Osmotic dehydration: review and future directions. *Proceeding of symposium on progress in food*. 1: 183-187.
- MARULANDA, R. 1998. Predicción de la cinética del secado osmótico del melón cortado en forma cilíndrica a diferentes temperaturas y concentraciones de la solución osmótica. Tesis de grado. Universidad de Oriente. Boca del Río.
- MERCADO, E. 1990. Deshidratación osmótica de manzana Granny Smith. Estudio y modelización del transporte de material y de la evolución de algunas propiedades físicas y químicas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- NÚÑEZ, M. 1999. Predicción de la cinética en la deshidratación osmótica a vacío de filetes de sardina. Tesis de maestría. Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Barcelona.
- RAOULT-WACK, A. L. 1994. Advances in osmotic dehydration. *Trends Food Sci.Technol.*5: 255-260
- RAOULT-WACK, A. L., LAFONT, F., RIOS, G. AND GUILBERT, S. 1989. Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties. In: *Drying '89*, eds A. S. Mujumdar & M. Roques. Hemisphere, pp. 487-495
- RASTOGI, N.K., AND NIRANJAN, K. 1998. Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *J. Food Sci.* 63: 508-511.
- RASTOGI, N. K., AND RAGHAVARAO, K. S. M. S. 1997. Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration. *J.Food Eng.* 34: 429-440
- RODRÍGUEZ, E. Y VÁSQUEZ, L. 2000. Cinética de la deshidratación osmótica con pulso de vacío en láminas de sardina, a diferentes presiones y concentraciones. Tesis de grado. Universidad de Oriente. Boca del Río.
- TORREGGIANI, D. 1993. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Res. Intl.* 26:59-68.