

TRANSFERENCIA DE MASA EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA A VACÍO DE RODAJAS DE *ANANAS COMOSUS L. MERR* "PIÑA"

Recepción: Febrero de 2005 / Aceptación: Junio 2005

⁽¹⁾ Luis Dávila Solar

⁽²⁾ Luz López Ráez

RESUMEN

Se analizaron los efectos de la temperatura y presión en la velocidad de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica a vacío de rodajas de *Ananas comosus L. Merr* "piña". En los experimentos se empleó solución de sacarosa de 65 °Brix a temperaturas de 40 y 50 °C, presiones de 1 013, 220 y 100 mb, por 30, 60, 120, 180 y 240 min. Se halló que la mayor transferencia de masa se obtuvo a 100 mb a las condiciones de trabajo especificadas.

Palabras Clave: Deshidratación osmótica. Rodajas de piña. Vacío. Transferencia de masa.

MASS TRANSFER IN VACUUM OSMOTIC DEHYDRATION OF *ANANAS COMOSUS L. MERR* "PINEAPPLE" SLICES ABSTRACT

The temperature and pressure effects on the mass transfer kinetics during vacuum osmotic treatment in pineapple slices were analyzed. Experiments were carried out with solution of sucrose of 65 oBrix at temperatures of 40 and 50oC, pressure of 1 013, 220 and 100 mb, for 30, 60, 120, 180 and 240 min. The highest mass transference was obtained at 100 mb under the specified working conditions.

Key words: Osmotic dehydration. Pineapple rings. Vacuum. Mass transfer.

(1) Magister Scientiae. Master of Science. Profesor de la Escuela Universitaria de Posgrado, UNFV.
E-mail: ldavilass@yahoo.com

(2) Magister Scientiae. Master of Science. Directora de la Sección de Postgrado de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, y Ciencias Alimentarias, UNFV.
E-mail: luzlopezr@yahoo.es

INTRODUCCIÓN

Según Alzamora et al. (1989) una de las posibilidades para preservar las frutas tropicales es la aplicación de tecnologías para la obtención de alimentos de humedad intermedia (AHI), cuyo consumo se ha agregado al de productos deshidratados (Khin et al., 2005) enfatizando la demanda internacional por productos con características sensoriales parecidas a las del alimento fresco (Cháfer et al., 2005) buscando su innovación para presentarlos en el comercio mundial.

Ponting et al. (1966), definen el término de deshidratación osmótica (DO) al aplicar este tratamiento a frutas y hortalizas, con Kaymak-Ertekin y Sultanoglu (2000) se reporta que las primeras son materias primas ideales para la DO por su estructura celular y contenido de sólidos, minimizando los cambios de sus características sensoriales. Determinando que la deshidratación osmótica a vacío (DOV) es una técnica para la obtención de AHI es, en la cual trozos de alimento sólido se sumergen en soluciones concentradas de azúcares, pudiendo controlarse el ingreso de solutos para obtener características reológicas definidas en las muestras tratadas, variando el tamaño de la molécula del soluto y la permeabilidad de la membrana celular (UNC, 2004).

Hawkes y Flink (1978), Dalla Rosa et al. (1982) y Lericci et al. (1985) reportan que la presión de trabajo debe influir sobre la calidad final de los productos tratados, así Dávila et al. (1993) al aplicar DOV en muestras de mango, demostraron que las condiciones de vacío benefician el transporte de agua desde el mango hacia la solución; López et al. (1994) lo hicieron en rodajas de kivi; Dávila et al. (1997), deshidrataron pescado a condiciones de vacío, hallando la aceleración de los intercambios de componentes, en forma similar a los reportados en carne de alpaca (Dávila y López, 2002). El objetivo del trabajo es comparar el efecto del vacío y la temperatura durante la deshidratación de rodajas de "piña".

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se trabajó con piña procedente de Chanchamayo que se adquirió en el mercado mayorista de Lima, se usó azúcar blanca comercial.

El análisis de la materia prima se desarrolló en los siguientes aspectos:

1. **Determinación del peso.** Se procedió a realizar las pesadas de las rodajas de piña antes y después de la operación del tratamiento osmótico, empleando una balanza de sensibilidad 0,01 g (Dávila et al., 1993).

>>> *Transferencia de Masa en la Deshidratación Osmótica a Vacío de rodajas de Ananas comosus L. Merr "piña"*

- 2. Determinación de humedad.** Se aplicó el método 20.013 de la AOAC (1980) citado por Dávila et al. (1993).
- 3. Determinación de sólidos totales.** Por el método de Horwitz (1975).
- 4. Determinación de la actividad de agua (a_w).** Según el procedimiento de Guarda y Álvarez (1991).

Metodología experimental

A continuación se muestran los 4 aspectos que desarrolló la metodología:

- 1. Solución osmótica.** Se elaboró con sacarosa adquirida en el comercio local, hasta llegar a los 65oBrix (Kuntz, 1995).
- 2. Muestra experimental.** Las piñas seleccionadas por su tamaño, estadio de madurez y ausencia de magulladuras o deterioro fueron peladas y descorazonadas, obteniéndose siete rebanadas de 10 mm paralelas a la zona ecuatorial.
- 3. Equipo.** Se utilizó un desecador que se colocó dentro de un baño maría para regular la temperatura en este reactor; además se conectó una manguera entre este último y una bomba para hacer vacío durante la deshidratación (Dávila et al., 1993). Se prepararon las muestras según las especificaciones indicadas por FAO (s.a).
- 4. Condiciones experimentales.** Se realizaron las pruebas por triplicado a las temperaturas de 40 y 50 °C, a las presiones de 1 013, 220 y 100 mb. Las rodajas de piña codificadas se extrajeron a los 30, 60, 120, 180 y 240 min, se escurrieron, secaron con papel absorbente y pesaron. Luego se picaron y homogeneizaron para determinar por triplicado el peso, humedad, sólidos solubles totales y actividad de agua (Dávila et al., 1997).

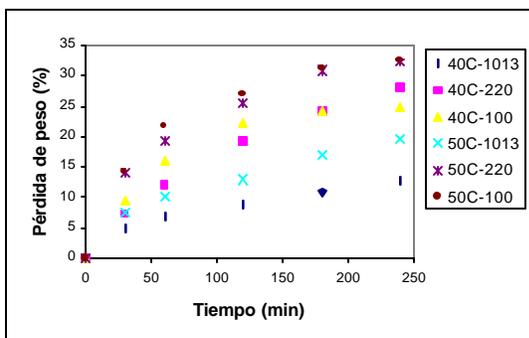


Figura 1. Evolución del peso en las rodajas de piña
Fuente: Elaboración propia, 2005.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existen por lo menos cuatro mecanismos diferentes que intervienen cuando el alimento es deshidratado usando la técnica de la DOV, así se tienen mecanismos capilares, difusionales, osmótico y un mecanismo por efecto de vacío, el cual deberá estudiarse para entender mejor esta operación.

Evolución de la pérdida de peso

En la Figura 1 se presenta la evolución de la variación del peso porcentual de las rodajas de piña a las temperaturas de 40 y 50°C; se observa que la presión de operación afecta la evolución de la pérdida de peso, así cuanto menor fue la presión de operación mayor fue la pérdida de peso del producto. Así la variación de peso se calculó mediante la ecuación (1):

$$\Delta W = (W_o - W_t) / W_o \quad (1)$$

Donde: ΔW es la variación de peso, W_o es peso inicial de las rodajas de piña al tiempo cero, W_t es el peso al tiempo t de trabajo.

Se halló que manteniendo constante las presiones de operación, la mayor pérdida de peso se obtuvo cuando la temperatura fue la más alta; por lo cual la temperatura acelera la pérdida de peso de la muestra.

Raoult et al. (1989) trabajando con manzanas en forma de cilindros y láminas delgadas reportan que la pérdida de peso disminuye durante la deshidratación osmótica, lo cual concuerda con las tendencias obtenidas en este trabajo. Similares resultados en cuanto a la pérdida de peso considerando geometría de frutas y efecto de temperatura, fueron encontrados y publicados por Beristain et al. (1990). Mediante el ANOVA se halló que la presión y la temperatura, reducen el peso de las rodajas hasta las cuatro horas de deshidratado. Siendo altamente significativa la

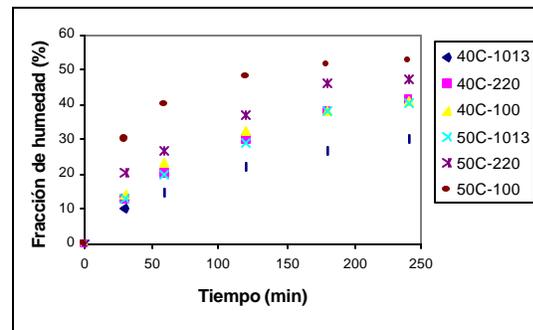


Figura 2. Evolución de la humedad en la piña
Fuente: Elaboración propia, 2005.

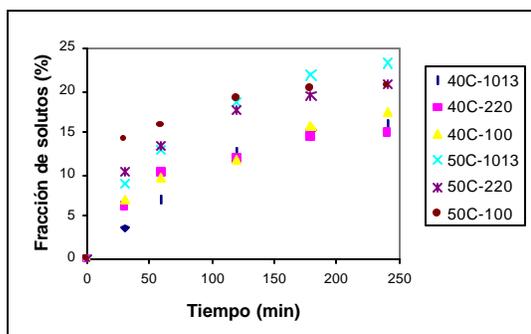


Figura 3. Evolución de solutos en rodajas de piña
Fuente: Elaboración propia, 2005.

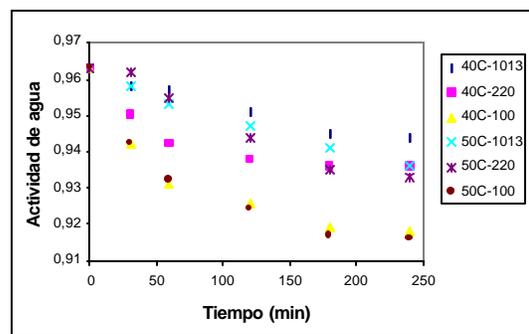


Figura 4. Evolución de actividad de agua en piña
Fuente: Elaboración propia, 2005.

DOV a los tiempos especificados. Se obtuvieron coeficientes de variabilidad (C.V.) en todos los casos menores a 5,04%.

Evolución en el contenido de humedad
El contenido de humedad de la piña fresca es del 84,1% llegando al 55% a las cuatro horas de operación trabajando a vacío. Giangiacomo et al. (1987) y Le Maguer (1988) expresaron que la pérdida de agua de las frutas se realiza en las tres primeras horas de operación de la deshidratación osmótica, siendo los cambios más fuertes en este período; en coincidencia con nuestros resultados.

En la Figura 2 se observa que la presión afecta la pérdida de humedad a las temperaturas de trabajo; al igual que el vacío produce el mayor retiro de agua. Su cálculo se efectuó mediante la ecuación (2):

$$\Delta Ww = (W_o X_{wo} - W_t X_{wt}) / W_o \quad (2)$$

Donde: ΔWw es la fracción de humedad, W_o masa inicial de los anillos de piña al tiempo cero, W_t es la masa final de los anillos al tiempo final t, X_{wo} es el contenido de agua inicial esto es al tiempo cero y X_{wt} es el contenido de agua al tiempo final t.

Mata (1991) al deshidratar anillos de manzanas, demostró que las condiciones de vacío mejoran el transporte de agua desde los anillos de manzana hacia la solución osmótica, evidenciándose una disminución de peso conforme la operación se lleva a cabo a lo largo de la coordenada temporal.

Evolución de los sólidos solubles
El efecto de la presión de operación sobre el ingreso de azúcares expresado en fracción a diferentes temperaturas se observa en la Figura 3, de acuerdo a los antecedentes de pérdida de peso y pérdida de humedad, se podría presagiar que los mejores ingresos de

sólido se realizan a las menores presiones de operación, afectando la textura del producto (Khan et al., 2005). Se calculó mediante la ecuación (3):

$$\Delta Ws = (W_o X_{so} - W_t X_{st}) / W_o \quad (3)$$

Donde: ΔWs es la fracción de sólidos solubles, X_{so} es el contenido de los sólidos solubles en el tiempo cero, X_{st} es el contenido de sólidos solubles el tiempo final t.

En cuanto al efecto de la temperatura sobre la ganancia de los sólidos solubles expresado en fracción a presiones constantes de 1 013, 220 y 100 mb, es notorio como era de esperar que los mejores ingresos de la sacarosa hacia la piña se producen cuando la temperatura es de 50°C, Arrhenius explicó que por cada 10°C de temperatura las velocidades de reacción química tienden a duplicarse, esto explicaría el mejor transporte de sólidos. Fito (1992) en el modelamiento de este fenómeno reportó una tendencia semejante a la que se presenta en este trabajo. Lenart y Flink (1984) publicaron resultados sobre la concentración osmótica de sólidos en rodajas de papas demostrando que la muestra de papa gana rápidamente sólidos cuando los tiempos son pequeños como se observó en este trabajo, similarmente a los resultados de Moreno et al. (s.a) durante la impregnación de cerezas.

Evolución de la actividad de agua

En la Figura 4 se representa la evolución de la a_w en función al tiempo a 40 y 50°C, se determinó que la a_w disminuye con el tiempo así como sus bajos valores cuando la temperatura aumentó; cambiando rápidamente a condiciones de vacío, otorgando al producto mayor estabilidad.

Como se puede observar, a diferencia de los casos de las otras variables, la evolución de la a_w en función

>>> *Transferencia de Masa en la Deshidratación Osmótica a Vacío de rodajas de Ananas comosus L. Merr "piña"*

al tiempo presenta un descenso gradual durante todo el experimento, probablemente porque el alimento inicialmente tiene alta a_w , y las variaciones grandes de humedad la alteran ligeramente. En estas mediciones se considera que el periodo de enfriamiento de las muestras ha contribuido a que las lecturas tengan algún grado de incertidumbre, porque la temperatura de operación es diferente a la de medición, por lo cual se ha podido producir una pequeña redistribución de agua entre las fracciones sólida y líquida del sistema. La tendencia reportada es similar a la reportada por Ayala et al. (2003).

Determinación de la difusividad extra fickiana (D_{e-f})

Se propone el nombre de difusión extra fickiana por trabajar a presión de vacío y diferenciarla de la difusividad eficaz o aparente, propuesta por otros investigadores a la presión atmosférica. Se calculó mediante la ecuación (4):

$$\ln Y = \ln (8 / \delta^2) - (- \delta^2 D_{e-f} / 4 e^2) t \quad (4)$$

Donde: D_{e-f} es la difusividad extra fickiana, t es el tiempo, e es el semi espesor del anillo de piña, y es la variable adimensional de humedades calculado por la ecuación (5).

$$Y = (X - X_e) / (X_0 - X_e) \quad (5)$$

Donde: Y es la variable adimensional de humedad, X es la humedad al tiempo t , X_0 es la humedad inicial, X_e es la humedad de equilibrio.

Puede observarse que tanto el aumento de la temperatura como el trabajar a presiones inferiores a la atmosférica, producen mayores valores de la D_{e-f} , es decir cinéticas de evolución más rápidas. Realizando un ANOVA sobre los valores de D_{e-f} , observados, se demostró que existen diferencias significativas entre las temperaturas y las presiones de operación.

Así se obtuvo que a presión atmosférica el valor de la "Difusividad extra fickiana" para el agua aumenta con la temperatura. Y a condiciones de vacío manteniendo la temperatura constante, parece ser menor el efecto. El valor de la D_{e-f} , para el agua a temperatura constante de 40°C es de $3,691 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ incrementa a $3,782 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 220 mb y sigue aumentando a $5,235 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 100 mb, lo cual indica que a condiciones de vacío posiblemente durante la transferencia de materia existan fenómenos distintos a la difusión, como el denominado "Mecanismo de flujo pistón". Abugoch y Guarda (1991) trabajando a presión atmosférica y usando concentrado de manzana de 70,5% de sólidos solubles encontraron valores de difusividad para la pérdida del ácido ascórbico en rodajas de kiwi del orden de $1,905$ a $6,095 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$,

valores próximos a los obtenidos en este trabajo para el transporte de agua.

Se hallaron valores de energía de activación en la deshidratación de manzanas reportando valores de 9 400 a 9 100 cal/mol trabajando a condiciones de presión atmosférica y con jarabes concentrados de 41 a 52 °Brix (Monsalve-González et al., 1993); que coinciden con nuestros datos. Para potenciales de concentración mayores se necesita menor energía para retirar agua desde la fruta hacia la solución.

CONCLUSIONES

Se ha encontrado en todos los casos que la muestra sometida a condiciones de vacío pierde más fácilmente peso en comparación con los tratamientos a condición de presión atmosférica. La Difusividad extra fickiana para el agua y sólidos solubles es mayor en condiciones de vacío frente a la presión atmosférica, considerando constante la temperatura de operación. El aumento de la temperatura de trabajo en la DOV y atmosférico, tiene un efecto que es directamente proporcional al valor numérico de la difusividad para los componentes agua y sólidos solubles. Los valores de la actividad de agua decaen con mayor intensidad cuando las muestra son tratadas a vacío frente al deshidratado a condiciones atmosféricas. Las mayores velocidades de transferencia de agua y sólidos solubles, se han producido en la primera hora de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abugoch, L. y Guarda, A. (1991). *Estudio de la Pérdida del Ácido Ascórbico Total en Rodajas de Kiwi, Durante la Deshidratación Osmótica*. Alimentos. 5(1):15-19.
2. Alzamora, S.M.; Gerschenson, L.N.; Cerrutti, P. y Rojas, A.M. (1989). *Shelf Stable Pineapple for Long Term Non-refrigerates Storage*. Lebensm Association of Official Analytical Chemists. 13th Ed. Published by the A.O.A.C. Washington D.C., USA.
3. Ayala, A.; Calero, A.; Chiralt, A. y Fito, P. (2003). *Efecto del escaldado sobre la deshidratación osmótica del mango*. Revista «Ingeniería y Competitividad». 4(2) En: http://revistaingenieria.univalle.edu.co/paquetes/busqueda/index.php?Accion=DetalleArticulo&art_codigo=78
4. Beristain, C.I.; Azuara, E.; Cortez, R. y García, H.S. (1990). *Mass Transfer During Osmotic*

- Dehydration of Pineapple Rings*. Int. J. Food Sci. Technol. 25 (5) 576-582.
5. Cháfer, M; Ortolá, MD; Chiralt, A y Fito, P.(2005) *Aprovechamiento alimentario de la corteza de naranja por técnicas de impregnación a vacío*. En: http://www.uib.es/catedra_iberoamericana/publicaciones/seae/mesa8/naranja.html.
 6. Dalla Rosa, M.; Pinnavaia, G. y Lericci, C.R. (1982). *La Disidrataciones della Fruta Mediante Osmosi Diretta*. Industria Conserve. 57(1): 3.
 7. Dávila, L.A.; Fito, P. y Pensabén, M. (1993). *Modelo Empírico para la Transferencia de Masa en la Deshidratación Osmótica a Vacío de Mangífera indica*. En: Anales de Investigación del Master en Ciencias e Ingeniería de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, España.
 8. Dávila, L.A. y López, L.E. (2002). *Comparación del Salado Húmedo y por Deshidratación Osmótica a Vacío en Carne de Alpaca (Auchenia pacos Tschudi)*. Postgrado. (1): 76-79.
 9. Dávila, L.A.; López, L.E y Rangel, M.C. (1997). *Seco Salado del Mustelus whitneyi Ch. Usando Deshidratación Osmótica a Vacío*. Hipótesis. (5): 148-151.
 10. FAO (1995). *Fruit and vegetable processing*. En: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/V5030E/V5030E0j.htm
 11. Fito, P. (1992). *Modelling Mass Transfer During Vacuum Osmotic Dehydration of Foods*. En: ISOPOW-V. Valencia. Spain.
 12. Giangiacomo, R.; Torregiani, D. y Abbo, E. (1987). *Osmotic Dehydration of Fruit. Part I. Sugar Exchange Between Fruit and Extracting Syrups*. J. Food Proc. Pres. (11):183-195.
 13. Guarda, A. y Alvarez, P.I. (1991). *Evaluación Estadística de un Método Rápido y Sencillo para Determinar la Actividad de Agua en Alimentos*. Alimentos. 3(16) 9-13.
 14. Hawkes, J. y Flink, J.M. (1978). *Osmotic Concentration of Fruit Slices Prior to Freeze Dehydration*. J. Processing Preserv. 2(): 265.
 15. Horwitz, W. (1975). *Oficial Methods of Analysis*. 12 edition. A.O.A.C. Washington D.C.
 16. Kay mak-Ertekin, F. y Sultanoglu, M.(2000) *Modelling of Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Apples*. J. of Food Engineering.(46): 243–250.
 17. Khan, M., Andres, A., Shankar, T.J., Oliveira, F.A.R. and Cunha, L.M. (2005). *Analysis of the effect of process variables on the osmotic dehydration of mango and process optimisation using a genetic algorithm approach*. Acta Hort. (ISHS) 674:181-188. En: http://www.actahort.org/books/674/674_20.htm.
 18. Khin, M.; Zhou, W. and Perera, C. (2005) *Development in the Combined Treatment of Coating and Dehydration of Food*. International. J. of Food Engineering.1 (1) 1-21.
 19. Kuntz, L. (1995) *Food product design*. En: <http://www.foodproductdesign.com/archive/1995/1295AP.html>.
 20. Le Maguer, M. (1988). *Osmotic Dehydration: Review and Future Directions*. In: Proc. Int. Symp. Progress Food Preser. Process. Vol. 1. Brussels. Belgium.
 21. Lenart, A. y Flink, J.M. (1984). *Osmotic Concentration of Potatoes. I. Criteria for the end Point of the Osmotic Process*. J. Food Technol. (19): 45-63
 22. Lericci, C.R.; Pinnavaia, G.; Dalla Rosa, M. y Bartolucci, L. (1985). *Osmotic Dehydration of Fruti: Influence of Osmotic Agents on Drying Behaviour and Product Quality*. J. Food Sci. 50:1217.
 23. López, L.E.; Fito, P.; Chiralt, A. y Dávila, L.A. (1994). *Estudio de la Porosidad y Cinética de la Deshidratación Osmótica a Vacío (DOV) de la Actinidia chinensis*. En: Anales de Investigación del Master en Ciencias e Ingeniería de Alimentos. P. Fito; J. Serra; E. Hernández & D. Vidal. (Ed). p. 513-530. Universidad Politécnica de Valencia. España.
 24. Mata, M. (1991). *Aportación al Desarrollo de un Proceso de Deshidratación Osmótica a Vacío de Alimentos*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
 25. Monsalve-González, A.; Barbosa-Canovas, G.V. y Cavalieri, R.P. (1993). *Mass transfer and Textural Changes During Processing of Apples by Combined Methods*. J. Food Sci. (58)1118-1124.
 26. Moreno, J.J.; Bastías, J.M.; Bugueño, G.; Velasco V.; Cuadra M. y Godoy M. (2002). *Efecto de la aplicación de pulso de vacío en el proceso de impregnación*. En: <http://www.uanl.mx/publicacio>

>>> *Transferencia de Masa en la Deshidratación Osmótica a Vacío de rodajas de Ananas comosus L. Merr "piña"*

nes/respyn/especiales/tec_alimentos/pdf/SECCION5.pdf.

27. Ponting, J.; Watters, G.G.; Forrey, R.R.; Jackson, R. y Stanley, W.L. (1966). *Osmotic Dehydration of Fruits*. Food Technology. (20): 125-128.
28. Raoult, A.; Lafont, F.; Rios, G. y Gilbert, S. (1989). *Osmotic Dehydration: A Study of Mass*

Transfer in Terms of Engineering Properties. In: Drying 89, A.S. Mujumdar and M. Roques (Ed)p. 487. Hemisphere Publishing Corporation. New York.

29. Universidad Nacional de Colombia (2004). *Fundamentos de la conservación de frutas*. En: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/index.html>.