

EQUILIBRIO OSMÓTICO DE MANGO (*Mangifera indica*) EN LA DESHIDRATACIÓN

THE OSMOTIC EQUILIBRIUM OF MANGO (*Mangifera indica*) DURING DEHYDRATION.

Germán A. GIRALDO G.,^{1*} Pau TALENS O.² y Amparo CHIRALT B.²

RESUMEN

Se determinan en este trabajo los cambios composicionales y estructurales del mango sometido a deshidratación osmótica a presión atmosférica (DO) y con pulso a vacío (DOPV), en el cual las muestras son impregnadas a 50 mbar por 10 min y luego se continúa la ósmosis a presión atmosférica. Se estudian en ambos procedimientos el efecto de la concentración de la solución osmótica y del tiempo de ósmosis. Para ello la pulpa de mango, en forma de cilindros de 1.5 por 2 cm, se trata con soluciones de 35, 45, 55 y 65° Brix. Las muestras por triplicado se extraen a tiempos entre 5 y 720 horas y son analizadas en términos de contenido de agua, sólidos solubles (x_{ss}), actividad del agua (a_w) y cambios en masa y volumen. A partir de estos datos se calculan las variaciones de masa (ΔM), agua (ΔM_w), solutos (ΔM_s) y volúmenes (ΔV , ΔV_{fl} , ΔV_{fg}). Las muestras tratadas con soluciones de 45 y 55 °Brix presentan la máxima recuperación de masa y volumen con la consiguiente ganancia de fase líquida, por lo que ambas soluciones pueden ser recomendables en procesos industriales. En el caso de soluciones de 45°Brix el tratamiento DOPV es el más indicado.

Palabras clave: Mango, deshidratación osmótica DO y DOPV, sólidos solubles.

ABSTRACT

The aim of this work is to determine the compositional and structural changes of the mango pulp subjected to osmotic dehydration under atmospheric pressure (OD) and pulsed vacuum (PVOD), in which the samples are impregnated with the osmotic solution at 50 mbar for the first 10 min of the process prior to being osmosed at atmospheric pressure. For both procedures, it is studied the effect of the concentration of the osmotic solution and the osmosis time. In order to do this, the mango pulp in form of cylindrical slices $\sim 1.5 \times 2.0$ cm is treated with solutions of 45, 55, 65 °Brix. The samples by triplicate are extracted during times ~ 5 -720 hours and analyzed in terms of water content, soluble solids (x_{ss}), water activity (a_w) and the mass and volume changes. From these data the variations in mass (ΔM), water (ΔM_w), solutes (ΔM_s) and volume (ΔV , ΔV_{fl} , ΔV_{fg}), are calculated.

The 45 and 55 °Brix solutions can be recommended for industrial processes since the samples treated with them exhibit the highest mass and volume recovery with a consequent liquid phase gain. In the case of the 45° Brix solutions, the PVOD procedure is the most indicated.

Keywords: Mango, osmotic dehydration OD and PVOD, soluble solids.

¹ Programa de Química. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Calle 12 norte carrera 15

² Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: ggiraldo@uniquindio.edu.co

INTRODUCCIÓN

La deshidratación osmótica (DO), es considerada como una de las operaciones adecuadas en el pretratamiento de frutas que van a ser sometidas a liofilización, secado solar, secado con aire, o deshidratación a vacío, debido a que favorece la reducción en el tiempo de proceso y el consumo energético, además de ayudar a conservar las características sensoriales del producto (1). La conservación de muchas de estas características se puede alcanzar controlando los tiempos en el equilibrado osmótico.

El proceso de deshidratación osmótica pasa por varios estados de seudoequilibrio; en el primero de ellos se observa que la velocidad a la que fluye el agua del alimento hacia la solución concentrada es mayor que la entrada de sólidos hacia el interior del alimento (2), mientras que al final de los seudoequilibrios se encuentra la igualdad en la actividad del agua (a_w) entre el alimento y la solución osmótica (3) y (4). El uso de impregnación a vacío afecta al equilibrado osmótico, debido a que contribuye a los cambios en la composición y evolución de la masa total de la muestra. Además, la mayor viscosidad de la solución osmótica, produce un menor grado de impregnación en el equilibrio, aunque se puede incrementar con la aplicación de pulsos a vacío (5)

Diferentes autores reportan algunos resultados del equilibrado osmótico en frutas; por ejemplo, el mango en una disolución de 30°Brix, alcanzó el equilibrado osmótico a las 48 h. La piña alcanzó el equilibrio a las 24 h de tratamiento con pulso a vacío y 48 h a presión atmosférica (6), la fresa lo alcanzó en un periodo entre 72 y 96 h, mientras que en el Kiwi se alcanzó entre 48 y 72 h (7).

El objetivo de este trabajo es determinar los cambios composicionales y estructurales causados al mango por las concentraciones de la solución osmótica en los tratamientos de deshidratación osmótica a presión atmosférica y con pulso a vacío al alcanzar los diferentes puntos del equilibrado.

MATERIALES Y METODOS

Preparación de la muestra

El mango (var. Kent) se adquiere en un mercado local, se selecciona con base en un grado de madurez similar. Cada fruta se pela y corta en piezas paralelas

a la semilla, de ellas se extraen cilindros en dirección al hueso de 1.5 cm alto y 2 cm diámetro. Para cada uno de los ocho tratamientos (4 DO y 4 DOPV) se toman 3 cilindros en cada tiempo, iniciando con fruta fresca. Las muestras se analizan en su composición (Humedad y sólidos solubles) y actividad del agua.

Tratamiento de equilibrio

El estudio de equilibrio se realiza en botes de vidrio con cierre hermético. Cada bote contiene una solución osmótica específica. En cada bote se introducen muestras previamente marcadas con hilos de colores y pesadas. Para los diferentes tratamientos se fijan las siguientes condiciones de trabajo (temperatura 30°C, presión de trabajo 50 y 1020 mbar y proporción fruta: solución 1:20). Las muestras por triplicado se extraen a las 5, 24, 48, 72, 144, 240 y 720 horas, de cada una de las soluciones (35, 45, 55 y 65°Brix). Los experimentos se realizan con dos tipos de tratamientos: deshidratación osmótica a presión normal (DO) y deshidratación osmótica con pulso a vacío (DOPV). Los tratamientos de DOPV, se alcanzan impregnando la muestra a vacío (IV) con la solución osmótica, aplicando presiones de 50 mbar los primeros 10 min del proceso. Las muestras obtenidas en cada tiempo se someten a los análisis de contenido de agua, sólidos solubles (x_{ss}) y actividad del agua (a_w), así como, los cambios de masa y volumen. A partir de los datos obtenidos se calculan las variaciones netas de masa (ΔM), agua (ΔM_w) y solutos (ΔM_s) y la variación de volumen (ΔV).

Determinación analítica.

El contenido de humedad se determina por secado a 60°C hasta peso constante (8). La actividad del agua en la muestra se determina en un equipo de punto de rocío (Decagon modelo CX-3) a 25°C. Los sólidos solubles se determinan en las muestras previamente homogenizadas, en un refractómetro (ATAGO modelo NAR – 3T). El volumen de las muestras se determina en un picnómetro, midiendo el desplazamiento del volumen, usando la solución isotónica respectiva, como referencia líquida. Los datos de masa y volumen registrados, se emplean para calcular la densidad aparente de la muestra. La densidad real de la fase líquida de la muestra se estima aplicando la ecuación de Lewis (9), asumiendo que la muestra está compuesta por agua y carbohidratos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio de equilibrio.

El estudio del equilibrado se realiza en dos etapas: en la primera se determinan los contenidos de humedad, sólidos solubles y a_w de las muestras, además de la a_w de la solución a diferentes tiempos de tratamiento, con el fin de analizar el equilibrio composicional entre la solución osmótica y la fruta. En la segunda etapa se observa la evolución de la masa y volumen de las muestras durante un periodo de tiempo más largo (30 días). Este análisis aporta información sobre los cambios estructurales ocurridos en las muestras durante la etapa de relajación de la matriz celular de la fruta. En este proceso también se comprueban los balances de materia mediante la ecuación 1. (Ver figura 1)

$$\Delta M = \Delta M_s + \Delta M_w \quad (1)$$

La figura 1 muestra la representación de los balances de materia para todos los tratamientos realizados. En ella se observa que para todos los casos los puntos se distribuyen bien sobre la diagonal, índice de la precisión experimental y fiabilidad de los resultados para este proceso.

Cambios Composicionales.

Análisis del equilibrio composicional.

El equilibrio químico entre la muestra y la solución osmótica está definido por la igualdad de potenciales químicos de la solución agua-solutos de la fase líquida de la muestra y de la Solución Osmótica (SO). No obstante, teniendo en cuenta la compartimentación de los sólidos nativos y la poca permeabilidad de la

membrana celular a los solutos externos, la igualdad mencionada solo tiene sentido para el agua, hasta el momento en que se desnaturaliza la membrana y el sistema se comporta de forma abierta al transporte de solutos, (Ver figura 2)

En la figura (2) se muestra, respectivamente, la evolución de la actividad del agua (a_w) y la fracción másica de solutos de la fase líquida de las muestras (Z_s) en función del tiempo de procesado de las muestras de mango. Además, se presenta (en líneas discontinuas) la evolución de la fracción másica de solutos (Y_s) y la actividad del agua (a_w) de cada una de las SO. Se puede apreciar que para los distintos casos, la igualdad en los valores de a_w de las muestras y las soluciones osmóticas ocurre alrededor de las 72 horas de tratamiento (un poco más tarde para las muestras deshidratadas con soluciones a 65 °Brix), es destacable que la igualdad de a_w se estabiliza después de las 72 h entre muestras y soluciones. Los valores de Z_s se equilibran aproximadamente a las 144 horas con Y_s , siendo iguales o ligeramente menores que los correspondientes a Y_s . A su vez, Z_s se estabiliza después de haberse igualado con el respectivo valor de Y_s .

Este comportamiento puede ser explicado, considerando que en gran medida la integridad y actividad biológica del tejido se mantiene durante todo el tiempo de tratamiento. En mango var. Kent, Tobar et al., (10), encontraron que la membrana de las muestras tratadas con deshidratación osmótica y almacenadas a baja temperatura eran más estables, que las muestras de mango no tratadas y almacenadas a baja temperatura. En el primer periodo (alrededor de las 72 h) el equilibrio se alcanza en términos de la igualdad en la a_w de la muestra y la

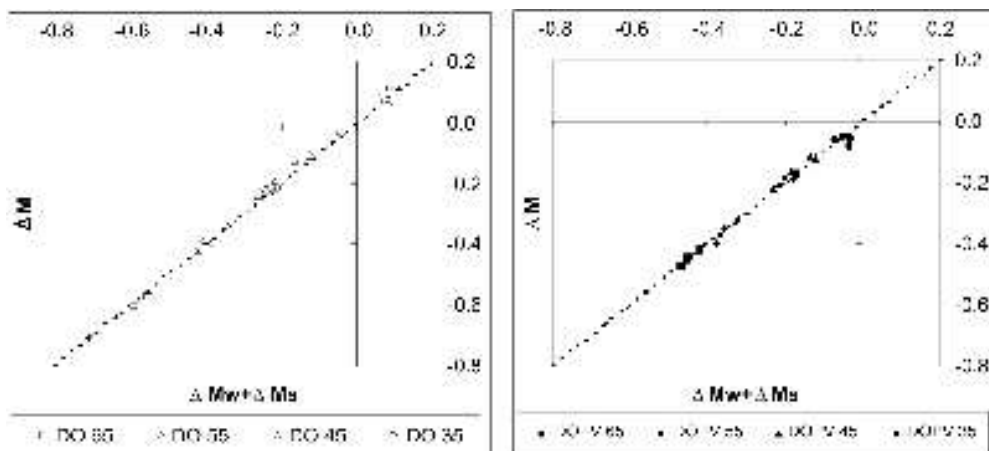


Figura 1. Balance de materia en el equilibrado osmótico de mango var kent.

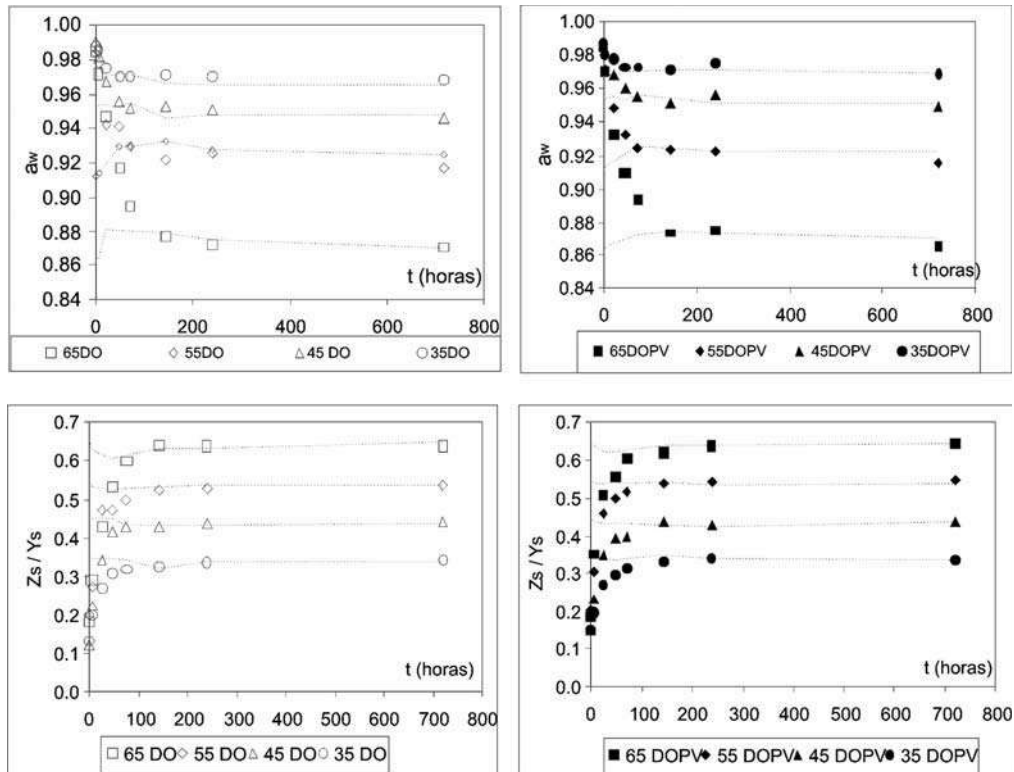


Figura 2. Cambio de la fracción másica de actividad de agua (a_w) y sólidos solubles (z_s) en las muestras de mango var kent con respecto a la solución osmótica.

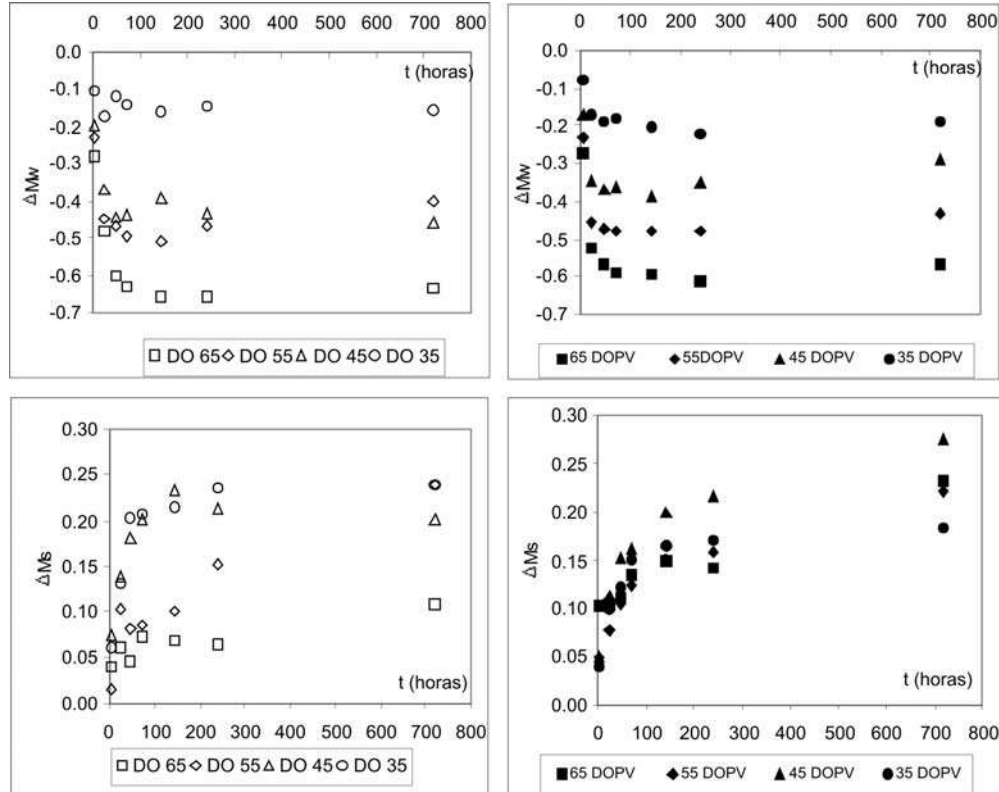


Figura 3. Variaciones de humedad y sólidos solubles en función del tiempo para muestras de mango var kent, sometidas a deshidratación osmótica.

SO, este principio es coherente con el transporte mayoritario y selectivo de agua y la compartimentación de los solutos nativos en el tejido. El promedio del peso molecular de los solubles nativos del mango (sacarosa 51,1%, fructosa 42% y glucosa 6,9%) (11), es ligeramente menor al del azúcar (sacarosa), sólido soluble de la solución osmótica. Esto explica el porque Z_s sea menor que Y_s al momento en que se alcanza la igualdad en la a_w .

En conclusión, el equilibrado composicional en el tratamiento osmótico de mango ocurre a través de diferentes etapas de pseudoequilibrio, afectadas o definidas por el grado de compartimentación celular del tejido y su actividad fisiológica. El equilibrado de la a_w se considerará para este caso como el primer pseudoequilibrio de la muestra. Algunos autores consideran este momento del proceso como el punto de equilibrio muestra-solución osmótica, debido a la igualdad de a_w entre la muestra y la disolución (12, 13), (Ver figura 3).

La figura 3 permite observar la pérdida neta de agua (ΔM_w) y la ganancia de sólidos solubles (ΔM_s), valores obtenidos al sustituir las ecuaciones 2 y 3 con

los datos recolectados en las muestras a lo largo del tratamiento. El equilibrio en las ganancias de sólidos solubles y pérdida de agua se alcanza aproximadamente entre las 72 y 144 horas. Además se puede apreciar que, en la mayoría de los casos, cuanto mayor es la concentración de la solución osmótica menor es la ganancia de sólidos y mayor es la pérdida de agua en la muestra, lo que contribuye a que tarde más en alcanzar la estabilidad. Al comparar las muestras tratadas por DO y DOPV en la variación ΔM_w , se distinguen leves diferencias entre ellas, con unas pérdidas de agua ligeramente inferiores en el último caso. En cuanto a ΔM_s se reconoció una diferencia muy marcada en el tratamiento a 45°Brix, mostrando una fuerte ganancia de sólidos en DOPV. Esta etapa podría considerarse como el segundo pseudoequilibrio de la muestra, ya que es posterior a la igualación de la a_w . Este estado es considerado como el punto de equilibrio (14). Según su consideración, el producto que se deshidrata alcanza una situación de equilibrio definido por un porcentaje de humedad y de sólidos solubles. Estos porcentajes se corresponden con la igualdad de concentraciones entre la fase líquida de la fruta (FLP).

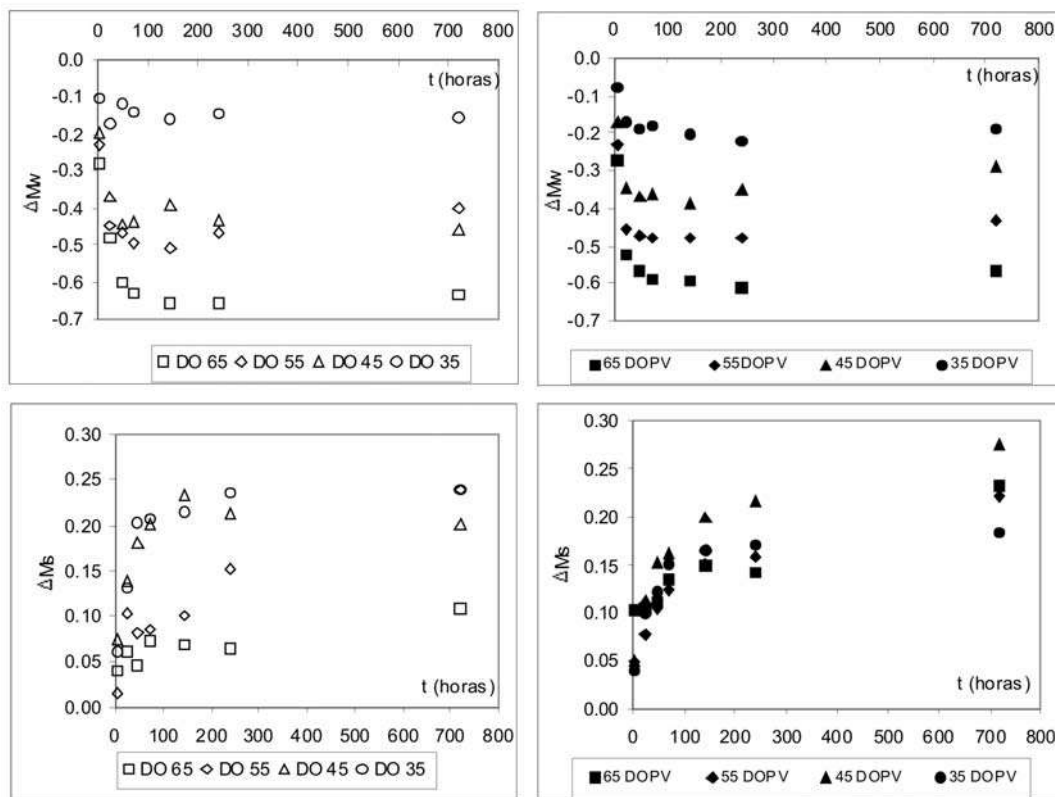


Figura 4. Variaciones de masa y volumen en función del tiempo para muestras de mango var kent.

$$\Delta M_w = \frac{(M^t x_w^t) - (M^0 x_w^0)}{M^0} \quad (2)$$

$$\Delta M_s = \frac{(M^t x_{ss}^t) - (M^0 x_{ss}^0)}{M^0} \quad (3)$$

donde:

M^0 = masa inicial de muestra (kg).

M^t = masa de muestra a tiempo t (kg).

x_{ss}^0 = Fracción másica de sólidos solubles de la muestra a tiempo 0.

x_{ss}^t = Fracción másica de sólidos solubles de la muestra a tiempo t .

x_w^0 = Fracción másica de agua de la muestra a tiempo 0 (kg/kg).

x_w^t = Fracción másica de agua de la muestra a tiempo t (kg/kg).

Evolución de la masa y volumen.

La figura 4. presenta, las variaciones de masa (ΔM) y volumen (ΔV), calculados con las ecuaciones 4 y 5, empleando los datos obtenidos en las muestras sometidas a deshidratación osmótica durante largos periodos de tiempo (hasta 720 horas), (Ver figura 4)

A las primeras 72 horas, la mayoría de los tratamientos presentan pérdidas de masa y volumen. Transcurrido este tiempo, se observa en las muestras una recuperación (excepto la de 35°Brix), este comportamiento se encuentra asociado con la relajación de la matriz celular contraída por la deshidratación (15; 16), dicha relajación conduce a la recuperación de volumen y masa debido a la succión de solución externa. Esta etapa se podría definir como la tercera etapa del pseudoequilibrio, considerado como el estado de equilibrio (15). La muestra tratada con SO con 35°Brix no presenta este comportamiento, lo que podría indicar que la muestra no alcanza a relajarse, debido probablemente, a la modificación de la estructura celular, pero en general en la mayoría de las muestras se presenta elasticidad estructural.

$$\Delta M = \frac{M^t - M^0}{M^0} \quad (4)$$

$$\Delta V = \frac{V^t - V^0}{V^0} \quad (5)$$

V^t = volumen de muestra a tiempo t (m^3).

V^0 = volumen inicial de muestra (m^3).

En cuanto a la influencia de la concentración de la SO y del pulso a vacío, se observa un marcado efecto en el tratamiento DOPV a 45° Brix, presen-

tando una recuperación significativamente mayor de masa y volumen. También se destaca que las pérdidas de masa y volumen son superiores a medida que aumenta la concentración de la SO, debido a que la concentración final influye directamente en una mayor pérdida de humedad y menor ganancia de sólidos solubles. El mismo comportamiento es reportado en otras frutas (7).

El estudio de la variación de masa y volumen durante el equilibrado osmótico de mango, muestra que en los tratamientos con SO a baja concentración se fomenta la ganancia de la solución externa en las muestras, debido a la viscosidad de la solución asociada a la capilaridad de la matriz sólida y también relacionada con el efecto del mecanismo hidrodinámico en los poros del tejido. En los tratamientos con SO a altas concentraciones no se presentan ganancias significativas en tratamientos prolongados, por la escasa recuperación de volumen asociada a deformaciones que provocan la no elasticidad de la matriz celular durante la deshidratación, debido probablemente a los fenómenos de encostramiento, como se reportan en otras frutas (6, 7). Esto muestra la bondad del tratamiento con 45°Brix, que ofrece un balance positivo en la variación de agua y solutos, adecuado para la obtención de productos escarchados, donde el volumen y la textura del producto terminado son altamente valorados.

Cambios estructurales.

Los tratamientos osmóticos provocan cambios estructurales en las muestras. Entre ellos, cabe destacar el cambio de volumen provocado por la reducción del mismo en las células del tejido, debido a la pérdida de agua y a la deformación de la matriz celular asociada a dicho fenómeno. Estos cambios están relacionados con el comportamiento viscoelástico del mango ya que el tratamiento osmótico influye notablemente en la solidez y velocidad de relajación (17). Los tratamientos con pulso a vacío pueden provocar una compresión del volumen ocupado por la muestra inicialmente por la fase gas en los espacios intercelulares (18).

En esta sección se analiza la evolución del volumen de las muestras durante los tratamientos osmóticos observados hasta mucho después del equilibrado composicional de las muestras (720 horas de tratamiento), con el propósito de analizar el fenómeno de relajación del volumen observado en

los tejidos vegetales, responsables de la ganancia de masa a tiempos largos de tratamiento (15, 19, 20).

Cambios de volumen.

Para explicar los cambios de volumen de las muestras durante los tratamientos osmóticos, se ha comparado el cambio de volumen medido experimentalmente (ΔV_T) con el cambio de volumen de la fase líquida de la fruta (ΔV_{FL}); este último se calcula sustituyendo en la ecuación 6 los datos de composición de la muestra fresca y tratada, así como la densidad inicial de la muestra (ρ_0) y de la fase líquida de la fruta (ρ_{FL}). El cálculo de la densidad de la fase líquida de la fruta se realiza a partir de la concentración de la fase líquida (Z_s), mediante la ecuación 7, que se obtiene del ajuste ($r^2=0.999$) de datos experimentales densidad: concentración para diferentes azúcares y polioles en el intervalo de Z_s entre 0 y 0.8 (9).

$$\Delta V_{FL} = \frac{\frac{m^i(x_w^i + x_s^i)}{\rho_{FL}^i} - \frac{m^0(x_w^0 + x_s^0)}{\rho_{FL}^0}}{\frac{m^0}{\rho^0}} \quad (6)$$

$$\rho_{FL} = 230Z_s^2 + 339Z_s + 1000 \quad (7)$$

Los valores de ΔV_{FL} (ecuación 8) se obtienen de forma independiente a partir de la pérdida volumétrica de agua (ΔV_w) y la ganancia volumétrica de solutos (ΔV_s) mediante las ecuaciones 9 y 10 y se comparan con los valores obtenidos en la ecuación 6. La figura 5 muestra la concordancia de los valores obtenidos para todos los casos, lo que apoya la

fiabilidad de los procedimientos.

$$\Delta V_{FL} = \Delta V_w + \Delta V_s \quad (8)$$

$$\Delta V_w = \frac{\Delta M_w \rho_0}{\rho_w} \quad (9)$$

$$\Delta V_s = \frac{\Delta M_s \rho_0}{\rho_s} \quad (10)$$

Donde: ρ_0 = densidad inicial de la muestra en kg/m^3

$$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = 1590 \text{ kg/m}^3$$

(Ver figura 5)

El cambio de volumen de las muestras durante los tratamientos osmóticos puede ser explicado utilizando el modelo donde el cambio total de volumen es la suma de los cambios en cada una de las 3 fases idealizadas del producto (21): Fase gas (ΔV_{FG}), fase líquida (agua más solutos) (ΔV_{FL}) y matriz sólida (insolubles) (ΔV_{MS}) (ecuación 11). La fracción de insolubles representa un volumen muy pequeño en comparación con las otras dos fases y puede asumirse que cambia relativamente poco a lo largo del proceso. Los cambios ocurridos en la fase gas y líquida son debidos a la salida e ingreso de agua y solutos por los diferentes mecanismos y al cambio de volumen del gas de los poros, en el cual los cambios de presión en el sistema tienen una gran importancia. Para muestras muy poco porosas ΔV_{FG} es prácticamente cero y la variación de volumen de las muestras viene explicada por la variación de volumen de la fase líquida en los tratamientos DO y DOPV (22). En muestras porosas, los tratamientos DO producen una varia-

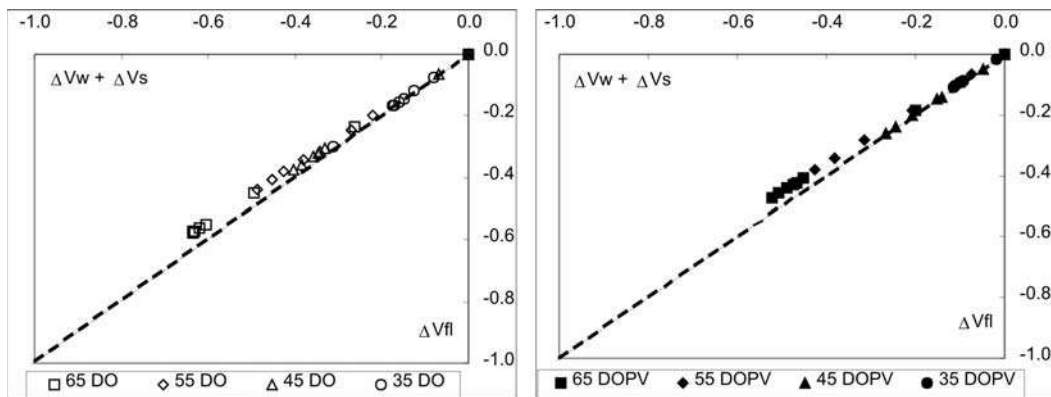


Figura 5. Comparación entre las variaciones de volumen de la fracción líquida de las muestras de mango var kent (ΔV_{FL}) obtenidas por dos procedimientos diferentes.

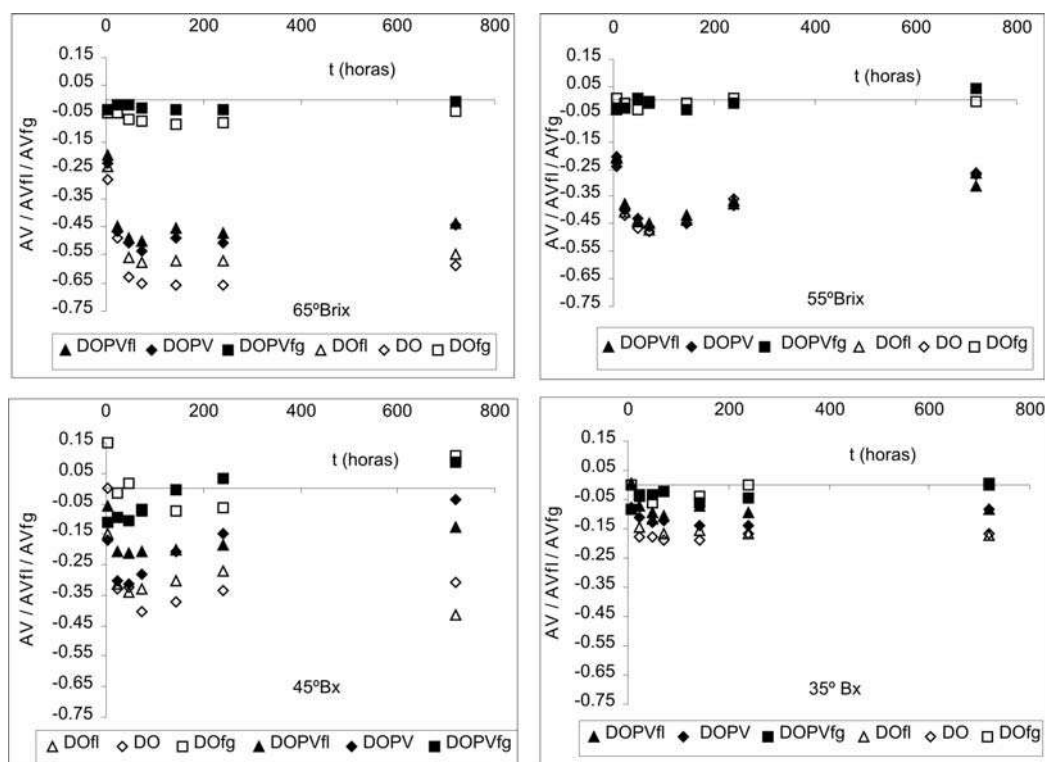


Figura 6. Variación de volumen total (DV), de la fase gas (DV_{FG}) y de la fase líquida (DV_{FL}) en los diferentes tratamientos de deshidratación osmótica del mango var kent .

ción de volumen total superior a la de la fracción líquida, debido al colapso parcial del volumen de los poros durante la deformación de la matriz asociada a la deshidratación, mientras que los tratamientos DOPV se asocian, por una parte, con ganancias de fase líquida sin cambios de volumen de la muestra, debido a la entrada de líquido en los poros y cambios en el volumen de los poros llenos de gas asociado al acoplamiento impregnación-deformación durante la acción del pulso a vacío (18; 23).

$$\Delta V = \Delta V_{FL} + \Delta V_{FG} + \Delta V_{MS} \quad (11)$$

La figura 6 muestra las variaciones de volumen total (ΔV), volumen de la fase gas (ΔV_{FG}) y volumen de la fase líquida (ΔV_{FL}) del mango en los tratamientos DO y DOPV. Las muestras tratadas con soluciones 35 y 65°Brix presentan una mínima recuperación a la deformación producida luego de alcanzar el equilibrio, mientras que las muestras 45 y 55°Brix presentan un gran poder de relajación. En cuanto a los tratamientos DOPV, estos recuperan su volumen en mayor medida debido probablemente

a la mayor relajación sufrida luego de alcanzar el equilibrado composicional (Ver figura 6)

CONCLUSIÓN

Durante el equilibrado osmótico de mango, las muestras tratadas con disoluciones de 45 y 55°Brix presentan la máxima recuperación de masa y volumen con la consiguiente ganancia de fase líquida, por lo que ambas pueden ser recomendables en procesos de escarchado. En el caso de 45°Brix el tratamiento DOPV es el más indicado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Giraldo G., Talens P, Fito P. & hiralt A. (2003) Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield of mango osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering* 58 33-43.
- 2.- Lewicki, P. (1998). Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering*. 36: 81-87.
- 3.- Argaiz A., López-Malo A., Palou E. & Welti J. (1994). Osmotic dehydration of papaya with corn syrup solids. *Drying Technology*. 12(7): 1709-1725.
- 4.- Vial C., Gulibert S. & Cuq J.L. (1991). Osmotic dehydration of kiwi fruits: Influence of process variables on the colour and ascorbic acid content. *Sciences des Aliments*, (11): 63-64.
- 5.- Cháfer, M., González-Martínez, C., Ortolá, M.D. & Chiralt, A.

- (2001) Long term osmotic dehydration processes of orange peel at atmospheric pressure and by applying a vacuum pulse. *Food Science and Technology International*. 7(6) 511-520.
- 6.- Barat J. M., González G., Chiralt A. & Fito P. (2000). Vacuum impregnation applied to pineapple candying. In J. Welty-Chanes, G.V. Barbosa-Cánovas, & J.M. Aguilera Proceedings of the Eighth International Congress on Engineering and Food -ICEF 8- (pp.1372-1376). Lancaster: Technomic Publishing Co., Inc.
 - 7.- Talens P., (2002) Tratamientos osmóticos en la crioprotección de fresa y kiwi. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.
 - 8.- A.O.A.C. (1980). Association of official Analytical Chemist. Official Methods of Analysis. Washington. D.C.
 - 9.- Lewis M. J. (1996). Physical properties of foods and food processing systems. Chichester: Ellis Harwood Ltd.
 - 10.- Tobar B., Garcia H. S. & Mata M. (2001). Physiology of pre-cut mango. II. Evolution of organic acids. *Food-Research-International*; 34 (8) 705-714
 - 11.- Gil A., Duarte I., Delgadillo I., Colquhoun J., Casucelli F., Humper E., & Spraul M. (2000). Study of the compositional changes of mango during ripening by use of nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal Agriculture Food Chemistry* 48 (5) 1524 – 1536.
 - 12.- Lenart A. & Flink J. M. (1984). Osmotic concentration of potatoes I, Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal of Food Technology*. 19: 45-63.
 - 13.- Rahman M. S. & Lamb J. (1990). Osmotic dehydration of pineapple. *Journal Food Science Technology* 27 (3) 150-152.
 - 14.- Biswal R. N. & Bozorgmehr K. (1991). Equilibrium data for osmotic concentration of potato in NaCl – water solution. *Journal Food Process Engineering* 14, 237-245.
 - 15.- Barat J.M., Chiralt A. & Fito P. (1998). Equilibrium in cellular food osmotic solutions systems: The role of the structure. *Journal of Food Science*. 63, 836-840.
 - 16.- Fito P. & Chiralt A. (2000). Vacuum impregnation of plant tissues. In: Design of minimal processing technologies for fruits and vegetables. Ed. Alzamora S. M, Tapia M. S. & López-Malo A. Aspen Publishers, Inc. Maryland. pp. 293-305.
 - 17.- Ayala A. (2001). Aplicación de la deshidratación osmótica en la impregnación a vacío en la crioprotección de mango. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia España.
 - 18.- Fito P., Andres A., Chiralt A. & Pardo P. (1996) Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation –relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering* 27: 229-240.
 - 19.- Barat J.M., Albors A., Chiralt A. & Fito P. (1999). Equilibration of apple tissue in osmotic dehydration. Microstructural changes. *En Drying '98*. Ed. C.B. Akritidis; D. Marinos-Kouris y G.D. Saravacos. Ziti Editions, Thessloniki, Volumen A.: 827-835.
 - 20.- Fito P., Betoret N., Gras M. L., Martínez-Monzó J. & Chiralt A. (2001) Viability of vegetables matrices as support of physiological active components. Proceedings of ICEF & Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster, volumen II, 1366-1371.
 - 21.- Fito P., Chiralt A., Barat J. M. & Martínez-Monzó J. (2002). Mass transport and deformation relaxation phenomena in plant tissues. Ed. J Welty-Chanes, G. V. Barbosa-Canovas, J. M. Aguilera. *Engineering and Food for the 21st Century*. Lancaster. Boca Ratón: CRC Pres. pag. 235-254.
 - 22.- Martínez-Monzó J., (1998). Cambios fisicoquímicos en manzanas Granny Smith asociados a la impregnación a vacío. Aplicaciones en Congelación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
 - 23.- Barat J.M., Fito P., & Chiralt A. (2001). Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering*, 49 (2-3), 77-85

Fecha de Recibo: Abril 29 de 04

Fecha de Aceptación: Agosto 31 de 2004