

LIOFILIZACIÓN DE PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*)

FREEZE-DRYING IN YELLOW PITAHAYA (*Selenicereus megalanthus*)

Alfredo A. AYALA A.^{1*}, Liliana SERNA C.², Esmeralda S. MOSQUERA V.¹

Recibido: Diciembre 9 de 2009 Aceptado: Mayo 27 de 2010

RESUMEN

La liofilización es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos, la cual permite prolongar el tiempo de vida útil manteniendo significativamente las propiedades físicas y fisicoquímicas relacionadas con su calidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la liofilización y la osmoliofilización sobre las cinéticas de congelación y de secado, la actividad de agua, el volumen, la porosidad y la capacidad de rehidratación en rodajas de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). Como pretratamiento osmótico a la liofilización (osmoliofilización), las rodajas se sumergieron en una solución de sacarosa con 55 °Brix a 25°C; se congelaron a -35°C, la sublimación se llevó a presión de vacío de 8 Pa y el secado se realizó desde -35 hasta 35°C. Los resultados de los tratamientos evidenciaron, al final del proceso, diferencias significativas en la porosidad, volumen y capacidad de rehidratación (que fueron mayores para el tratamiento liofilizado), mientras que la cinética de secado y la actividad de agua no presentaron diferencias significativas. El tratamiento de liofilización fue adecuado para la conservación de rodajas de pitahaya amarilla, ya que permitió reducir la actividad de agua por debajo de 0,4; conservó significativamente el volumen y presentó alta capacidad de rehidratación.

Palabras clave: Cactaceae, deshidratación, liofilización, ósmosis, conservación de alimentos.

ABSTRACT

Freeze-drying is an interesting alternative as a food preservation method allowing to extend the shelf life and significantly preserving physical and physicochemical properties related to quality. The objective of this study was to evaluate the effect of freeze-drying and osmo-freeze-drying on the kinetics of freezing and drying, water activity, volume, porosity and rehydration capacity of sliced yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). As osmotic pretreatment to freeze-drying (osmo-freeze-drying), slices were immersed in a sucrose solution at 55 °Brix. The slices were frozen at -35°C. The sublimation was carried at vacuum pressure of 8 Pa and drying was carried out from -35 to 35°C. The results of these treatments at the end of the process showed significant differences in porosity, volume and rehydration capacity (being higher for freeze-drying treatment), while the kinetics of drying and water activity were not significant. The freeze drying treatment was suitable for the preservation of sliced yellow pitahaya, because it helped to decrease water activity below 0.4, preserved and showed significant volumes of high rehydration capacity.

Keywords: Cactaceae, freeze drying, dehydration, osmosis, food preservation.

1 Escuela de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle, Sede Meléndez. Calle 13 No 100-00, Edificio 338, 2º piso, Espacio 2023. Cali, Colombia.

2 Departamento de Ingeniería. Facultad de Ingeniería y Administración. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Carrera 32 Chapinero, Vía Candelaria, Bloque 25, 3º piso, oficina 3170. Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: alfredo.ayala@correounivalle.edu.co

INTRODUCCIÓN

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) es un fruto exótico apetecido no sólo por su agradable sabor sino también por su exuberante color y forma, y ha sido considerado en Colombia como uno de los frutos promisorios de exportación (1). Según la Corporación Colombia Internacional (CCI), en el año 2000 Colombia logró el ingreso de la pitahaya al mercado japonés con exportaciones de 25 toneladas (2). Esta exportación va en aumento, no solamente por la apertura de nuevos mercados en España, Francia, Alemania y algunos países del medio Oriente, sino por las reconocidas propiedades funcionales y medicinales de este fruto (3, 4). Su sistema de producción se encuentra bien tecnificado pero no así su procesamiento (3), lo que constituye una limitante para la apertura de otros mercados y la generación de valor agregado. No se encuentran investigaciones sobre métodos de conservación ó de procesamiento de *Selenicereus megalanthus* que ayuden a resolver, al menos en parte, la falta de alternativas en este campo.

El proceso de liofilización es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos que permite prolongar el tiempo de vida útil conservando las propiedades físicas y fisicoquímicas relacionadas con la calidad. Consiste en la eliminación del agua de un producto por sublimación del agua libre de la fase sólida acompañada de la evaporación de algunas porciones remanentes de agua no congelable (5). La sublimación ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo se encuentran por debajo del punto triple del agua (6). La liofilización se considera uno de los mejores métodos de conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales de productos biológicos (7). Los productos liofilizados se caracterizan por su baja actividad de agua, bajos cambios de volumen y de forma, alta capacidad de rehidratación, aumento en su porosidad y por presentar un estado vítreo. La porosidad influye fuertemente en la capacidad de rehidratación de los vegetales deshidratados; a mayor porosidad mayor capacidad de rehidratación (8).

La capacidad de rehidratación se puede considerar como una medida del daño estructural o celular ocurrido durante el secado o la deshidratación del alimento (9). En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado.

Como pretratamiento en diferentes métodos de conservación de materiales biológicos se ha empleado con éxito la deshidratación osmótica (DO), para mejorar propiedades físicas, fisicoquímicas y nutricionales relacionadas con la calidad del producto final, y reducir el tiempo de proceso y el ahorro energético. La DO consiste en extraer agua de un producto que se sumerge en una solución osmótica (SO) hipertónica, durante un tiempo y en una temperatura específicos (10). Se ha utilizado ampliamente como pretratamiento el secado con aire (11), la pasteurización (12), la congelación (13), la fritura (14), y el microondas (15); sin embargo, en la literatura científica no se encuentra la DO como pretratamiento a la liofilización.

El propósito de este trabajo fue evaluar algunos parámetros relacionados con la calidad de pitahaya liofilizada y osmoliofilizada como la actividad de agua, la porosidad, la variación de volumen y la capacidad de rehidratación, además de las cinéticas de congelación y deshidratación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se emplearon pitahayas amarillas (*Selenicereus megalanthus*), en estado de madurez 4, según la norma NTC 3554 (16), provenientes del norte del Departamento del Valle del Cauca (Colombia).

Metodología

Las frutas se lavaron, se pelaron y se cortaron en rodajas de 40 mm de diámetro y 5 mm de altura. En el tratamiento de liofilización (LF) se emplearon muestras frescas (sin pretratamiento), mientras que en el tratamiento de osmoliofilización (OLF), las muestras previamente se sometieron a un pretratamiento osmótico.

Pretratamiento osmótico.

Las rodajas se deshidrataron en soluciones osmóticas de sacarosa comercial con 55 °Brix durante 35 min a 25°C. Se empleó un volumen de solución osmótica de 5 L, con una relación muestra-solución de 1:20. La solución osmótica se agitó a 240 rpm empleando un agitador mecánico. Transcurridos los 35 min las rodajas se retiraron de la solución, se lavaron inmediatamente con agua destilada para retirar la sacarosa remanente en la superficie y se sometieron al proceso de liofilización.

Liofilización y curva de congelación.

Las rodajas de pitahaya fresca (PF) y osmodeshidratadas (PDO) se colocaron en un liofilizador de bandejas (Labconco, 6 L, USA) y se congelaron a -35°C . La velocidad de congelación (θ), se midió registrando los datos de tiempo y temperatura mediante un Datalogger Thermometer (Sper scientific, USA.) empleando una termopar tipo K insertada en el centro geométrico de la fruta, y se calculó mediante la ecuación 1. Con los datos obtenidos sobre la temperatura del producto y el tiempo se construyeron las curvas de congelación.

Una vez congeladas las muestras de los dos tratamientos se aplicó una presión de vacío de 8 Pa para el proceso de sublimación. El calor de sublimación fue suministrado por 3 placas localizadas dentro de la cámara del liofilizador. Para determinar las curvas de secado las muestras se calentaron desde -35 hasta 35°C y se registraron las variaciones de humedad. El tiempo del proceso de secado para los tratamientos liofilizados y osmoliofilizados fue de 12 h.

Para evaluar el contenido de humedad (curvas de secado), actividad de agua (a_w) y porosidad (ϵ) se tomaron muestras en diferentes tiempos de secado (3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 h). Los cambios de volumen (ΔV) se midieron en la fruta fresca (tiempo cero) y en la fruta seca (al final del proceso, 12 h). La capacidad de rehidratación de las muestras LF y OLF se estimó mediante la inmersión de las muestras en recipientes de vidrio, cada uno con 80 mL de agua destilada a 25°C . La relación en peso de muestra - agua destilada fue de 1:15. Se retiraron muestras de los recipientes en diferentes tiempos hasta alcanzar 180 min, se secaron con papel absorbente y se calculó su peso y su contenido de humedad (base seca).

Estas variables respuesta se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) tomando las condiciones finales del proceso de liofilización (12 h), y 180 min para la capacidad de rehidratación. Los experimentos se realizaron por triplicado.

Determinación de las propiedades físicas y fisicoquímicas.

Para la medida del peso de las muestras durante la liofilización y la rehidratación se empleó una balanza analítica Mettler Toledo (AE200) de sensibilidad 0,001 g. Los sólidos solubles de las soluciones osmóticas, de las muestras frescas y deshidratadas osmóticamente, se midieron con un refractómetro (ABB ATAGO 1T Zeiss, a 20°C). El contenido de

humedad se determinó mediante el método 934.06 (17). La actividad de agua se obtuvo mediante un Decagon model CX-1, con sensibilidad de 0,003. La porosidad (ϵ) se estimó de acuerdo a la ecuación 2, mediante la relación de la densidad aparente (ρ_a) y densidad real (ρ_r) (valores que no se presentan). La ρ_a se determinó por el método de desplazamiento de volumen con un picnómetro a 20°C . La ρ_r se calculó mediante la ecuación 3 (18). El cambio en el volumen (ΔV) se estimó empleando la ecuación 4. El volumen (V) de cada muestra se calculó mediante la relación de su peso y su densidad aparente.

$$\theta = \frac{T_o - T_f}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$\epsilon = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) * 100 \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$\rho_r = \frac{1}{\frac{x_w}{1000} - \frac{1 - x_w}{1590}} \quad \text{Ecuación 3.}$$

$$\Delta V = \frac{V_o - V_t}{V_o} * 100 \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

T_o : Temperatura inicial de la muestra ($^{\circ}\text{C}$)

T_f : Temperatura final de la muestra ($^{\circ}\text{C}$)

x_w : Fracción másica de agua en la muestra

Δt : Intervalo de tiempo de congelación (min)

V_o : Volumen inicial de la muestra (tiempo cero)

V_t : Volumen final de la muestra (12 h de proceso)

RESULTADOS

Las muestras de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) fresca presentaron un contenido de humedad promedio de $3,393 \pm 0,0034$ (Kg agua/Kg m.s) y $19,23$ °Brix, mientras que las muestras deshidratadas osmóticamente obtuvieron $2,685 \pm 0,0041$ (Kg agua/ Kg m.s) y $24,51$ °Brix.

Curvas de congelación

En la figura 1 se observan las curvas de congelación de pitahaya fresca (PF) y pitahaya deshidratada osmóticamente (PDO), previas al proceso de liofilización. Los valores de la desviación estándar en las dos curvas fueron pequeños, variaron entre $0,752 - 1,523$ y $0,642 - 1,637$ para LF y OLF respectivamente, lo cual indica que los resultados son

reproducibles. Se observa que aproximadamente a los 70 min se inició el proceso de congelación del agua de las muestras, asociado a la eliminación del calor latente de congelación. Puede notarse que el punto de congelación difiere entre los tratamientos PF y PDO. Presenta un menor valor este último, con $-4,43^{\circ}\text{C}$, mientras que PF alcanzó $-2,58^{\circ}\text{C}$. Wang *et al.*, 2003 (19) reportaron las temperaturas iniciales de congelación de algunas frutas con sus correspondientes sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$); en manzana ($-2,20 \pm 0,38^{\circ}\text{C}$ para $12,28^{\circ}\text{Brix}$), en pera ($-1,96 \pm 0,24^{\circ}\text{C}$ para $9,55^{\circ}\text{Brix}$), y en uva ($-3,37 \pm 0,35^{\circ}\text{C}$ para $16,7^{\circ}\text{Brix}$). El carambolo (*Averrhoa carambola* L.), deshidratado osmóticamente, alcanzó una temperatura inicial de congelación de $-5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (20). Puede observarse también, que los tratamientos presentaron una similar velocidad de eliminación de energía sensible antes y después del punto de congelación. La velocidad de congelación para ambos tratamientos fue de $0,3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ de acuerdo con la ecuación 1.

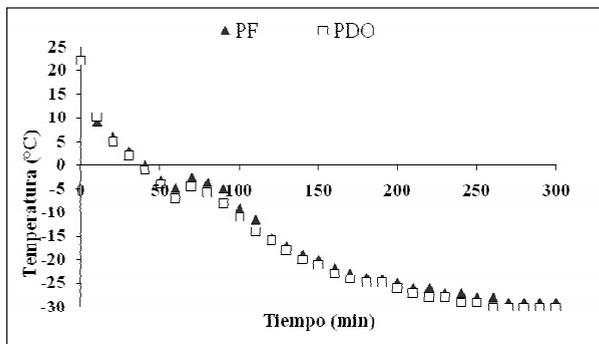


Figura 1. Cinéticas de congelación de pitahaya fresca y deshidratada osmóticamente.

Curvas de secado

En la figura 2 se aprecian las curvas de secado de rodajas de pitahaya liofilizada (LF) y osmoliofilizada (OLF) con sus correspondientes barras de desviación estándar. Se observaron diferencias en el contenido de humedad durante las 9 h de proceso, y el tratamiento OLF registró los valores menores. Después de este tiempo no se evidenciaron diferencias; el contenido de humedad del tratamiento OLF disminuyó hasta alcanzar, al final de proceso (12h), $0,0255 \pm 0,0014$ Kg agua/Kg m.s, mientras que el tratamiento LF alcanzó $0,0134 \pm 0,0027$ Kg agua/Kg m.s. El ANOVA para los tratamientos al final del proceso de secado (12 h) confirmó que no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$).

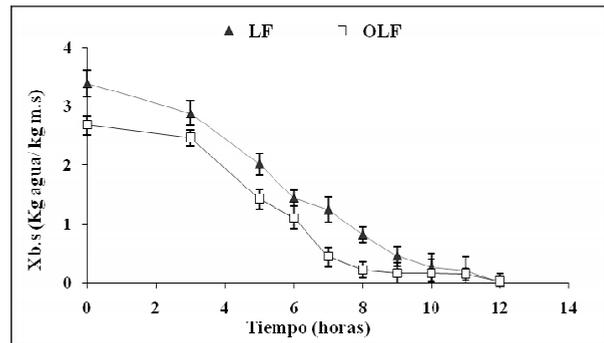


Figura 2. Curva de secado de pitahaya liofilizada (LF) y osmoliofilizada (OLF).

Actividad de agua

En la figura 3 se observa la evolución de la actividad de agua de las muestras liofilizadas y osmoliofilizadas con sus correspondientes barras de desviación estándar. Es evidente la disminución de la actividad de agua en los tratamientos LF y OLF durante el proceso de liofilización, que alcanza, al final del secado, valores cercanos a $0,364 \pm 0,002$ y $0,382 \pm 0,001$ respectivamente. El ANOVA para los tratamientos a las 12 h de secado, evidenció que no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$).

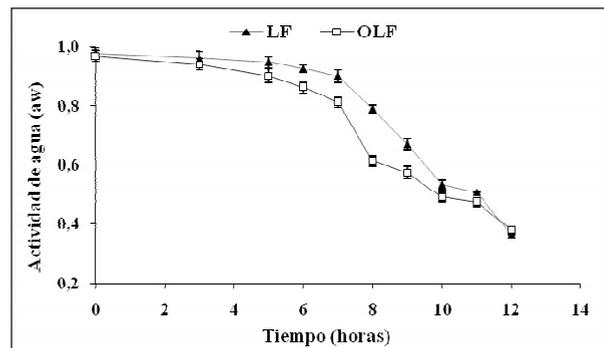


Figura 3. Evolución de la actividad de agua en pitahaya liofilizada (LF) y osmoliofilizada (OLF).

Cambios de volumen

En la tabla 1 se presentan los cambios de volumen de pitahaya liofilizada y osmoliofilizada. Se observó una fuerte influencia del proceso osmótico sobre los cambios de volumen (encogimiento) en las rodajas de pitahaya OLF al final del proceso. Este tratamiento presentó las mayores pérdidas de volumen, con $19,15\%$, mientras que LF alcanzó $2,60\%$. El ANOVA, a 12 horas de secado confirma las diferencias significativas de los cambios de volumen entre los tratamientos ($p < 0,05$).

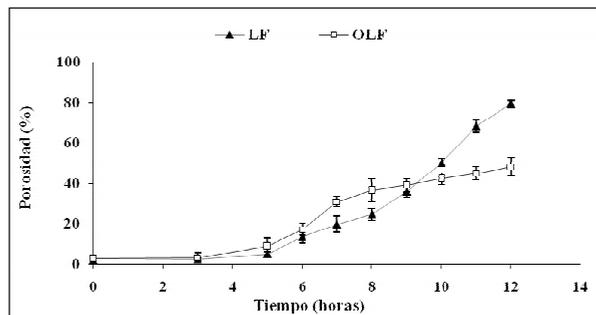
Tabla 1. Cambios de volumen final de pitahaya liofilizada y osmoliofilizada.

Tratamiento	V_0 (cm ³)	V_f (cm ³)	ΔV (%)
LF	6,28 ± 0,02	6,12 ± 0,09	-2,60
OLF	6,28 ± 0,02	5,08 ± 0,03	-19,15

(El signo menos (-) significa pérdida o disminución de volumen)

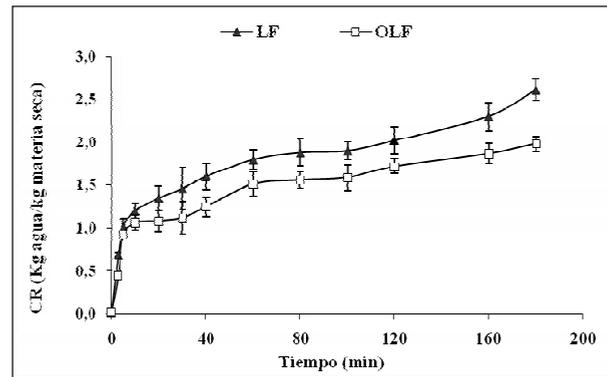
Porosidad

Los cambios en la porosidad de las muestras de pitahaya durante el proceso de liofilización se indican en la figura 4. Se observó la baja porosidad inicial de la pitahaya, en fresco con 2,12% y deshidratado osmóticamente con 3,02%; estos valores están acordes con los encontrados en pitahaya (2,06%) por Ayala-Aponte *et al.*, 2009 (1). Puede notarse un aumento progresivo de la porosidad en los tratamientos LF y OLF, que alcanzan al final del secado 84,52 y 48,17% respectivamente. El valor de la porosidad del tratamiento LF es compatible con los que hallaron Marques *et al.*, 2006 (21) en diferentes frutas liofilizadas (guayaba, piña, papaya y mango). El ANOVA, a las 12 h de proceso, mostró el efecto significativo entre los tratamientos ($p < 0,05$).

**Figura 4.** Evolución de la Porosidad en pitahaya liofilizada (LF) y osmoliofilizada (OLF).

Rehidratación

La figura 5 muestra la evolución de la capacidad de rehidratación (CR) de las muestras LF y OLF. Se apreciaron diferencias entre estos tratamientos, y se hizo evidente el efecto negativo del pretratamiento osmótico durante la rehidratación; el tratamiento LF alcanzó mayores valores de CR que OLF, con 2,614 y 1,982 (Kg agua/Kg m.s.) respectivamente. El ANOVA, a los 180 min de rehidratación, evidenció las diferencias significativas ($p < 0,05$) en la capacidad de rehidratación entre los tratamientos.

**Figura 5.** Capacidad de rehidratación de muestras de pitahaya liofilizada y osmoliofilizada a 25°C.

DISCUSIÓN

El bajo valor de la temperatura inicial de congelación (-4,43°C) del tratamiento PDO puede explicarse por la mayor concentración de solutos (24,5°Brix) alcanzada durante la deshidratación osmótica, que influye en el descenso de la temperatura de congelación (descenso crioscópico). Las diferencias en el contenido de humedad, entre los tratamientos hasta alcanzar 9 h de secado, se encuentran influenciadas por el menor contenido de humedad del tratamiento OLF al inicio del secado (debido al pretratamiento osmótico aplicado). La disminución de la cinética de secado de OLF después de 9 h de proceso se debe, posiblemente a la formación de un encostramiento o capa de sacarosa en la superficie de las muestras, por efecto del pretratamiento osmótico, que provoca resistencia a la salida del agua libre de la fruta durante la liofilización (22, 23). De acuerdo con estos resultados puede notarse que el pretratamiento osmótico no redujo el tiempo de secado.

Los valores de a_w 0,364 ± 0,002 y 0,382 ± 0,001, que alcanzaron los tratamientos LF y OLF respectivamente, son recomendados para el almacenamiento de alimentos. Según Sing y Helman (24), los alimentos con a_w inferiores a 0,4 son seguros en el almacenamiento contra microorganismos y reacciones de oxidación, hidrolíticas, y actividad enzimática, entre otros. Puede notarse que el comportamiento de la a_w en los dos tratamientos es similar al de las cinéticas de secado antes y después de 9 h de proceso. Este comportamiento está influenciado también por el menor contenido de humedad de las muestras deshidratadas osmóticamente al inicio del secado.

Respecto a los cambios de volumen, una reducción del volumen superior al 15% se considera un colapso estructural (25); por consiguiente las muestras OLF presentaron un colapso estructural ($\Delta V = -19,15\%$) por efecto del pretratamiento osmótico previo a la liofilización. El proceso de deshidratación osmótica puede provocar el colapso y la deformación de las paredes celulares de los materiales biológicos y disminución de la turgencia en las células, e incluso plasmólisis (26).

En este trabajo no se investigó el fenómeno de transición vítrea (T_g), pero es un factor importante para explicar también el colapso estructural de frutas liofilizadas. Es posible que la temperatura (35°C) de la fruta OLF, alcanzada al final del proceso de liofilización, haya superado su temperatura de transición vítrea, provocando una disminución de sus dimensiones y de su rigidez. Krokida y Maroulis (8) atribuyen el encogimiento o colapso estructural de productos biológicos al fenómeno de transición del material del estado vítreo al gomoso, y a la fusión del hielo, que provocan un efecto plastificante en la matriz amorfa del producto, y por consiguiente una reducción de la porosidad.

En cuanto al análisis de la porosidad se observó un mayor valor en el tratamiento LF al final del secado, no obstante durante las primeras 9 h se evidenciaron menores valores que para OLF, pero después fueron mayores; este comportamiento es similar al de las curvas de secado, ya explicado. Rahman, 2001 (27) argumenta que el incremento de la porosidad en los alimentos o productos liofilizados se debe a que la temperatura empleada en la congelación es inferior a la de su T_g , manteniendo el producto en estado vítreo; por consiguiente su volumen no cambia significativamente durante el secado. El bajo valor de porosidad del tratamiento OLF puede atribuirse al colapso estructural de las muestras ya explicado, por la aplicación previa de la deshidratación osmótica, o al fenómeno de la T_g (8). Levi *et al.*, 1995 (28), explican también este fenómeno de baja porosidad por efecto de la baja viscosidad obtenida en el alimento seco. Afirman que si la temperatura del producto está por encima de su T_g , su viscosidad puede disminuir hasta un nivel considerable, permitiendo la deformación del alimento y, por consiguiente, su matriz podría fluir y provocar cierto nivel de cierre de los poros, ocasionando encogimiento y pérdida de la estructura.

En la capacidad de rehidratación se apreció que el tratamiento LF no alcanzó el contenido de hu-

medad de equilibrio a los 180 minutos de proceso, lo que significa que puede seguir incrementándose hasta valores cercanos al contenido de humedad de la fruta fresca ($3,393 \pm 0,034 \text{ Kg agua/Kg m.s.}$). Así pues, la deshidratación de la pitahaya liofilizada es un proceso reversible, asociado con mínimos daños estructurales y encogimiento celular (9); comportamiento similar se obtuvo en la rehidratación de acerola (*Malpighia glabra* L.) liofilizada (29). Un comportamiento contrario presentó el proceso de OLF, haciéndose evidente así un proceso irreversible asociado a daños estructurales; resultados similares se encontraron en varios vegetales secos y rehidratados (9).

Este comportamiento irreversible en la pitahaya osmoliofilizada puede explicarse por su baja porosidad (48,17%) y por el colapso estructural o encogimiento por efecto del pretratamiento osmótico.

CONCLUSIONES

La liofilización es un método adecuado para la conservación de rodajas de pitahaya, ya que posibilita reducir la actividad de agua por debajo de 0,4; conservando significativamente el volumen, aumentando la porosidad, y permitiendo una rehidratabilidad aproximada a su contenido inicial de humedad. La aplicación de un pretratamiento osmótico a la liofilización de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*), empleando soluciones de sacarosa con 55°Brix , no es adecuada porque produce encogimiento de la fruta, baja capacidad de rehidratación, no influye significativamente en la pérdida de agua, y, en consecuencia, no reduce el tiempo de secado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de la República de Colombia y a la Asociación de Productores de Pitahaya (ASOPPITAYA) por la financiación de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ayala-Aponte AA, Serna-Cock L, Giraldo-Cuartas CJ. Efecto de la agitación sobre la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) empleando soluciones de sacarosa. *Interciencia*. 2009 Jul; 34 (7): 492-496.
2. CCI. Corporación Colombia Internacional. Manual del exportador de frutas, hortalizas y tubérculos en Colombia. [Internet]. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2002. [updated 2010 Apr 24; cited 2009 Jun 2]. Available from: <http://interletras.com/manualCCI/Frutas/Pitaya/pitaya03.htm>.

3. Rodríguez JP, Narváez CE, Restrepo LP. Polygalacturonase activity in yellow pitaya peel acanthocereus pitajaya. *Acta Biol Colomb.* 2006 Dec; 11 (1): 65-74.
4. Wu LC, Hsu HW, Chen YC, Chiu CC, Lin YI, Ho JA. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chem.* 2006 Mar; 95 (2): 319-327.
5. Abdelwahed W, Degobert G, Stainmesse S, Fessi H. Freeze-drying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations. *Adv Drug Deliver Rev.* 2006 Dic 30; 58 (15): 1688-1713.
6. Song CS, Nam JH, Kim CJ, Ro ST. Temperature distribution in a vial during freeze-drying of skim milk. *J Food Eng.* 2005 Apr; 67 (4): 467-475.
7. Shui G, Leong LP. Residue from star fruit as valuable source for functional food ingredients and antioxidant nutraceuticals. *Food Chem.* 2006 Jul; 97 (2): 277-284.
8. Krokida M, Maroulis Z. Quality changes during of food materials. In: A.S. Mujumdar, editor. *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences.* USA: Science Publishes. Inc. Enfield, NH; 2000. p. 61-106.
9. Krokida MK, Marinou-Kouris D. Rehydration kinetics of dehydrated products. *J Food Eng.* 2003 Mar; 57 (1): 1-7.
10. Falade KO, Igbeka JC, Ayanwuyi FA. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *J Food Eng.* 2007 Jun; 80 (3): 979-985.
11. Pani P, Leva AA, Riva M, Maestrelli A, Torreggiani D. Influence of an osmotic pre-treatment on structure-property relationships of air-dehydrated tomato slices. *J Food Eng.* 2008 May; 86 (1): 105-112.
12. Lazarides HN, Mitrakas GE, Matsos KI. Edible coating and counter-current product/solution contacting: A novel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model food system. *J Food Eng.* 2007 Sep; 82 (2): 171-177.
13. Marani CM, Agnelli ME, Mascheroni RH. Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. *J Food Eng.* 2007 Abr; 79 (4): 1122-1130.
14. Ikoko J, Kuri V. Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain. *Food Chem.* 2007; 102 (2): 523-531.
15. Erle U, Schubert H. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *J Food Eng.* 2001 Aug; 49 (2-3): 193-199.
16. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana. NTC.3554. Frutas frescas. Pitahaya amarilla. Bogotá: ICONTEC; 1996. Pp. 1-14.
17. AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International. Moisture in dried fruits. Method 934.06. Arlington, USA. 1990. Pp. 911-912.
18. Lewis MJ. Physical Properties of foods and food processing systems. Chichester, England: Ellis Horwood Ltd.; 1993. 41-42.
19. Wang J, Li L, Dan Y. The correlation between freezing point and soluble solids of fruits. *J Food Eng.* 2003 Dec; 60 (4): 481-484.
20. Grajales LM, Cardona WA, Orrego CE. Liofilización de carambola (*Averrhoa carambola L.*) osmodeshidratada. *Ingeniería y Competitividad.* 2005 Dec; 7 (2): 19-26.
21. Marques LG, Silveira AM, Freire JT. Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Dry Technol.* 2006; 24 (4): 457-463.
22. Collignan A, Raoult-Wack AL, Thémelin A. Energy study of food processing by osmotic dehydration and air dehydration. *Agric Eng J.* 1992; 1 (3): 125-135.
23. Prothon F, Ahrné LM, Funebo T, Kidman S, Langton M, Sjöholm I. Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. *Lebensm Wiss Technol.* 2001 Mar; 34 (2): 95-101.
24. Singh RP, Heldman DR. Introduction to Food Engineering. 2nd Ed. San Diego, California, USA: Academic Press, Inc; 1993. 139-141.
25. Shishegarha F, Makhlof J, Ratti C. Freeze-drying characteristics of strawberries. *Dry Technol.* 2002; 20 (1): 131-145.
26. Mauro MA, Tavares DQ, Menegalli FC. Behavior of plant tissue in osmotic solutions. *J Food Eng.* 2003 Jan; 56 (1): 1-15.
27. Rahman M.S. Toward prediction of porosity in foods during drying: a brief review. *Dry Technol.* 2001; 19 (1): 3-15.
28. Levi G, Karel M. Volumetric shrinkage (collapse) in freeze-dried carbohydrates above their glass transition temperature. *Food Res Int.* 1995; 28 (2): 145-151.
29. Marques LG, Ferreira MC, Freire JT. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra L.*). *Chem Eng Process.* 2007 May; 46 (5): 451-457.



Make sure your publication is read worldwide...

WRITE YOUR MANUSCRIPT IN ENGLISH

and send it to Vitae

more info: [http://www.udea.edu.co/vitae/
vitae@udea.edu.co](http://www.udea.edu.co/vitae/vitae@udea.edu.co)



REVISTA DE LA FACULTAD
DE QUÍMICA FARMACÉUTICA
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

INDEXED IN:

