
EFECTO DE LA AGITACIÓN SOBRE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus* s.) EMPLEANDO SOLUCIONES DE SACAROSA

Alfredo Adolfo Ayala-Aponte, Liliana Serna-Cock y Carlos Julián Giraldo-Cuartas

RESUMEN

Se estudió el efecto de la agitación (180, 220, y 240rpm) sobre la pérdida de agua y la ganancia de azúcar en rodajas de pitahaya deshidratadas osmóticamente, empleando soluciones osmóticas de sacarosa con dos niveles de concentración, 45 y 55°Brix. Adicionalmente, se determinó la porosidad de la pitahaya en estado fresco y deshidratado osmóticamente, y se relacionó con los niveles de agitación. Los resultados mostraron que los niveles de agitación inciden significativamente sobre la pérdida de agua, presentando mayor variación relativa para

los tratamientos a 45°Brix. La ganancia de azúcar no presentó diferencias significativas por efecto de los niveles de agitación. Lo anterior se explica por la baja porosidad de la pitahaya en estado fresco ($2,78 \pm 0,35\%$), que dificulta la entrada de la molécula de sacarosa en la fruta. Los resultados sugieren que la deshidratación osmótica se perfila como una técnica de pretratamiento apropiada para la pitahaya amarilla debido a la baja ganancia de sólidos durante el proceso.

Introducción

La pitahaya amarilla es un fruto exótico apetecido no solo 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. En 2005, la exportación alcanzó 142 toneladas de fruta, representando para el país un ingreso de USD 797000 (CCI, 2005), monto que va en aumento por la apertura de nuevos mercados en España, Francia, Alemania y Arabia Saudita, así como por sus reconocidas propiedades funcionales y medicinales (Rodríguez *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2006). Sin embargo, la pitahaya solo se comercializa en fresco y esto es un limitante para la apertura de nuevos mercados y para la generación de valor agregado.

La deshidratación osmótica (DO) es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos, especialmen-

te en frutas, debido a su bajo costo y a que es un proceso no térmico. La DO consiste en la extracción de agua de un producto que es sumergido en una solución hipertónica por tiempo y a temperatura específicos. Esta extracción se debe a la fuerza impulsora que se crea por la alta presión osmótica (o baja actividad de agua) de la solución o por el gradiente de concentración entre la solución osmótica (SO) y el sólido a deshidratar (Rasgoti y Raghavarao, 1996). Otros nombres propuestos para este proceso son deshidratación impulsada por diferencias de concentración, o deshidratación e impregnación por inmersión (Spiazzi y Mascheroni, 1997).

La DO es un proceso de contra-difusión simultáneo de agua y solutos (Saputra, 2001) donde ocurren tres tipos de transferencia de masa en contracorriente: flujo de agua del producto a la solución, transferencia de soluto de la SO al producto y salida de solutos del producto (azúca-

res, ácidos orgánicos, minerales y vitaminas que determinan características de sabor, color y olor) hacia la solución (Van Nieuwenhuijzen *et al.*, 2001; Sablani y Rahman, 2003). La salida de solutos nativos del fruto se da en pequeñas cantidades y cuantitativamente estas pérdidas son despreciables. (La Font, 1988; Mendoza y Schmalko, 2002).

La DO produce en el producto una disminución de la actividad de agua (a_w), prolongando así la vida útil de las frutas (Chirife, 1988). No obstante, el nivel alcanzado por la a_w en los productos deshidratados osmóticamente no es suficiente para proporcionar mayor estabilidad durante el almacenamiento. En general, el nivel de a_w que se obtiene en las frutas deshidratadas osmóticamente está entre 0,97 y 0,92 (Leistner, 1995). La mayor aplicación de la DO radica en su utilización previa a otros procesos de conservación, ya que conlleva a una reducción

en las pérdidas de nutrientes y una mejora en la calidad de los productos (Mandala *et al.*, 2005). Además de su utilización como pretratamiento la DO tiene otras aplicaciones en la producción de materia prima para ser incorporada como ingrediente en productos de frutas tales como jaleas, mermeladas, helados, lácteos, confitados y semielaborados, todo lo cual le abre una excelente posibilidad para el aprovechamiento y la exportación de frutas. No obstante, en la literatura no se evidencian estudios sobre los métodos de conservación o de procesamiento de la pitahaya amarilla, que ayuden a resolver la falta de alternativas en la industrialización de esta fruta

La agitación es una operación física que hace más uniforme a un fluido, generando una distribución homogénea de las propiedades del sistema. La DO normalmente se lleva a cabo con agitación de la solución para reducir o evitar la

PALABRAS CLAVE / Agitación / Deshidratación Osmótica / Pitahaya / Sacarosa /

Recibido: 11/11/2008. Modificado: 26/06/2009. Aceptado: 29/06/2009.

Alfredo Adolfo Ayala-Aponte. Ingeniero Agrícola, Universidad del Valle (Univalle) y Universidad Nacional (UNAL), Colombia. Doctor en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, España. Profesor, Univalle,

Colombia. Dirección: Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali, Colombia. e-mail: alfayala@univalle.edu.co.

Liliana Serna-Cock. Bacterióloga, Universidad Católica de Manizales, Colombia. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, UNAL. Colombia. Doctora en Ingeniería de Alimentos, Univalle, Colombia. Profesora UNAL, Colombia.

Carlos Julián Giraldo-Cuartas. Ingeniero Químico, Univalle, Colombia. Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Alimentos, Univalle, Colombia.

EFFECT OF STIRRING ON OSMOTIC DEHYDRATION OF YELLOW PITAHAYA (*Selenicereus megalanthus* S.) USING SUCROSE SOLUTIONS

Alfredo Adolfo Ayala-Aponte, Liliana Serna-Cock and Carlos Julián Giraldo-Cuartas

SUMMARY

The effect of the stirring (180, 220, y 240rpm) on water loss and sugar gain in the process of osmotic dehydration of pitahaya slices was studied, using osmotic solutions of sucrose with two concentration levels, 45 and 55°Brix. Additionally, the porosity of the pitahaya in fresh and osmotically dehydrated states was determined and related to the stirring speed. The results showed that stirring level has a significant effect on water loss, with a greater relative variation for the treatments at 45°Brix.

Sugar gain did not show significant differences as an effect of agitation speed. This is explained by the low porosity of the pitahaya in fresh state ($2.78 \pm 0.35\%$), which hinders the entry of the sucrose molecules into the fruit. The results suggest that osmotic dehydration is emerging as an appropriate pretreatment technique for the yellow pitahaya due to the low gain in solids during the process.

EFEITO DA AGITAÇÃO SOBRE A DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE PITAYA AMARELA (*Selenicereus megalanthus* S.) EMPREGANDO SOLUÇÕES DE SACAROSE.

Alfredo Adolfo Ayala-Aponte, Liliana Serna-Cock e Carlos Julián Giraldo-Cuartas

RESUMO

Estudou-se o efeito da agitação (180, 220, e 240rpm) sobre a perda de água e o ganho de açúcar em rodajas de pitaya desidratadas osmoticamente, empregando soluções osmóticas de sacarose com dois níveis de concentração, 45 e 55°Brix. Adicionalmente, se determinou a porosidade da pitaya em estado fresco e desidratado osmoticamente, e se relacionou com os níveis de agitação. Os resultados mostraram que os níveis de agitação incidem significativamente sobre a perda de água, apresentando

maior variação relativa para os tratamentos a 45°Brix. O ganho de açúcar não apresentou diferenças significativas por efeito dos níveis de agitação. O anterior se explica pela baixa porosidade da pitaya em estado fresco ($2,78 \pm 0,35\%$), que dificulta a entrada da molécula de sacarose na fruta. Os resultados sugerem que a desidratação osmótica se perfila como uma técnica de pre-tratamento apropriada para a pitaya amarela devido ao baixo ganho de sólidos durante o processo.

resistencia externa del sistema osmótico para incrementar la pérdida de agua. La influencia de la velocidad de agitación en los procesos osmóticos no ha sido estudiada ampliamente (Tonon *et al.*, 2007), encontrándose escasos trabajos sobre este aspecto. Moreira y Sereno (2003) estudiaron el efecto de la agitación de SO de sacarosa sobre las cinéticas de deshidratación en cilindros de manzana y concluyeron que la velocidad de agitación influenció positivamente la pérdida de agua (WL), mientras que para la ganancia de sólidos (SG) no resultó significativa. Panagiotou *et al.* (1999) deshidrataron osmoticamente manzana, banano y kiwi a diferentes velocidades de agitación y observaron que la SG fue influenciada por la agitación y la WL fue independiente de la misma.

La relación WL/SG es un índice adecuado para evaluar la efectividad del proceso de deshidratación osmótica y se le considera como parámetro de calidad. Valores altos de esta relación indican la mejor

condición del proceso osmótico (Matuska *et al.*, 2006).

Otro factor importante en el proceso de DO que influencia la WL y la SG, es la porosidad (ϵ) de la estructura matriz. La porosidad se define como la fracción de volumen de aire ocluido dentro del poro del producto biológico. La determinación de la porosidad se realiza mediante la relación de la densidad aparente (ρ_a) y real (ρ_r) (Yan *et al.*, 2008). Estas densidades se pueden medir experimentalmente mediante el empleo de un picnómetro calibrado con un líquido de referencia (Sablani *et al.*, 2002); sin embargo, pocos autores tienen en cuenta esta característica física en el proceso de DO.

El propósito de este trabajo fue estudiar la influencia de tres velocidades de agitación (180, 220 y 240rpm) sobre las cinéticas de WL y SG durante el proceso de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla, empleando soluciones osmóticas hipertónicas de sacarosa a dos niveles de

concentración (45 y 55°Brix); y determinar la porosidad de la pitahaya en estado fresco y deshidratado osmoticamente para así relacionar los niveles de agitación con los cambios de porosidad de la fruta.

Materiales y Metodología

Material vegetal

Se emplearon pitahayas (*var. Selenicereus megalanthus*) proveniente de fincas productoras ubicadas en el norte del Departamento del Valle del Cauca, Colombia. Las frutas fueron seleccionadas con estado de madurez 4, correspondiente a la clasificación de la norma NTC 3554 (ICONTEC, 1996). Las frutas se lavaron, se pelaron y se cortaron en rodajas de 40mm de diámetro y 5mm de espesor.

Solución osmodeshidratante

Se prepararon dos soluciones osmóticas (SO) de sacarosa comercial a 45 y 55°Brix, a 30°C con un volumen de 3,0

l para cada una. La relación fruta:solución fue de 1:20. Las soluciones osmóticas se agitaron mediante un impulsor incorporado a un equipo mecánico (Kika Labor Technik Pol Co, EEUU; Figura 1).

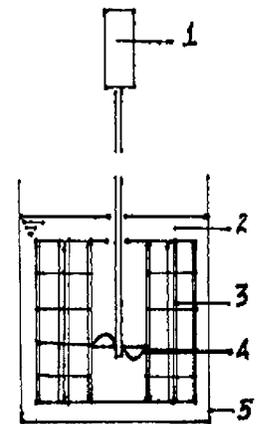


Figura 1. Esquema del montaje experimental del proceso de deshidratación osmótica; 1: motor del agitador mecánico, 2: solución de sacarosa, 3: canastilla porta muestras, 4: espigas de agitación, 5: recipiente cilíndrico (diámetro 20mm y altura 25mm).

Proceso de deshidratación osmótica

Las variables del proceso osmótico fueron el nivel de agitación (180, 220 y 240rpm), la concentración de solutos (45 y 55°Brix) y el tiempo de deshidratación (0, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 180 y 240min).

Para evaluar las variables de respuesta, pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos solubles (SG), se tomaron muestras de pitahaya a diferentes tiempos de deshidratación. Una vez extraídas las muestras de la SO se enjuagaron con agua destilada para retirar la solución remanente en la superficie e inmediatamente se secaron con papel absorbente. Las muestras se pesaron antes y después del proceso de deshidratación mediante una balanza analítica Mettler Toledo (AE200) de sensibilidad 0,001g. Para la determinación de los sólidos solubles, se extrajo una parte de la fase líquida de las muestras homogeneizadas con un equipo Ultraturrax a 8000rpm y se empleó un refractómetro (ABBE ATAGO 1T, Zeiss, termostata-do a 20°C) con una precisión de ±0,5°Brix. El contenido de humedad se determinó mediante el método 20.013 (AOAC, 1980). El número de Reynolds (Re) de las soluciones osmóticas fue determinado para verificar la ausencia o presencia de turbulencia en el sistema osmótico, mediante la ecuación (Geankoplis, 2003)

$$Re = \left(\frac{ND}{\mu} \right) \quad (1)$$

donde N: revoluciones por segundo (rev/s), D: diámetro del impulsor (0,05m), y μ : viscosidad cinemática de $5,292 \times 10^{-6}$ y $1,247 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para 45 y 55°Brix, respectivamente (Chenlo *et al.*, 2002).

La porosidad (ϵ) de la fruta se calculó como

$$\epsilon = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \right) \times 100 \quad (2)$$

donde ρ_a : densidad aparente, y ρ_r : densidad real. ρ_a fue medida en trozos enteros de fruta mediante el método de desplazamiento de volumen con un picnómetro a 20°C utilizando agua

destilada como líquido de referencia, mientras que para determinar ρ_r las muestras fueron trituradas hasta consistencia de puré y desaireadas para evitar la presencia de poros en la muestra. Las medidas experimentales fueron hechas por triplicado para cada tratamiento osmótico. La porosidad se midió en la fruta fresca y en la deshidratada al final del proceso (240min) de cada tratamiento osmótico. Los valores de porosidad no se incluyeron en el diseño de experimentos.

Las cinéticas de deshidratación osmótica, WL y SG se calcularon mediante las Ecs. 3 y 4, respectivamente, que se obtienen a partir de un balance de masa (Beristain *et al.*, 1990):

$$WL(\%) = \frac{(M_t)(x_{w,t}) - (M_0)(x_{w,0})}{M_0} \quad (3)$$

$$SG(\%) = \frac{(M_t)(x_{s,t}) - (M_0)(x_{s,0})}{M_0} \quad (4)$$

donde M_0 : peso inicial de la muestra (g), M_t : peso de la muestra a un tiempo t de tratamiento (g), $X_{w,0}$: fracción de agua inicial de la muestra, $X_{w,t}$: fracción de agua a un tiempo t de tratamiento, $X_{s,0}$: fracción de sólidos solubles iniciales de la muestra, y $X_{s,t}$: fracción de sólidos solubles a un tiempo t de tratamiento.

Diseño de los experimentos

Se utilizó un diseño factorial de $2 \times 3 \times 2$ con tres factores, el factor concentración de la solución con dos niveles (45 y 55°Brix), el factor velocidad de agitación de la solución con tres niveles (180, 220 y 240rpm), y el factor tiempo de deshidratación con dos niveles (30 y 240min).

Las variables de respuesta fueron WL y SG y se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) a los 30 y 240min. Estos tiempos obedecen a que al inicio del proceso de DO las cinéticas de deshidratación son más rápidas y a 240min se aproxima al pseudo equilibrio del proceso. Para el análisis de estas

TABLA I
NÚMERO DE REYNOLDS (Re) DE LAS SOLUCIONES OSMÓTICAS A DOS CONCENTRACIONES DE SOLUTOS Y TRES NIVELES DE AGITACIÓN

rpm	45°Brix	55°Brix
180	1417	601
220	1732	735
240	1889	802

variables se usó el programa estadístico SPSS 11.

Resultados y Discusión

Los °Brix iniciales de las muestras de pitahaya fueron $21,02 \pm 0,5\%$. En la Tabla I se presentan los valores de Re obtenidos para las soluciones osmóticas en estudio, donde Re varió de 601 a 1889 indicando que todos los tratamientos se realizaron en la región de la zona de transición correspondiente a $10 < Re < 10000$ (Geankoplis, 2003). En la tabla se aprecia que Re aumenta a medida que se incrementa el nivel de agitación y disminuye la concentración de solutos de la solución osmótica.

En la Tabla II se muestran los valores de porosidad (%) de fruta fresca (tiempo cero) y fruta deshidratada osmóticamente al final del proceso (240min) para los diferentes niveles de agitación y de concentración de solutos. Se observa que la pitahaya en estado

fresco presenta un valor promedio de porosidad de $2,78 \pm 0,35\%$; con lo cual se puede afirmar que la pitahaya presenta una estructura matriz de baja porosidad comparada con otras frutas como manzana (24%; Nieto *et al.*, 2004), piña (11%; Yan *et al.*, 2008), papaya (8,8%; Chavarro *et al.*, 2006) y

mango (9%; Ayala-Aponte *et al.*, 2002). Se nota además, a 240min en las dos concentraciones de soluto, un leve incremento de la porosidad conforme aumenta la velocidad de agitación. Este ligero aumento está asociado a la pérdida de agua por efecto de la agitación y estuvo presente tanto en 45 como en 55°Brix.

En las Figuras 2a y b se muestra el comportamiento

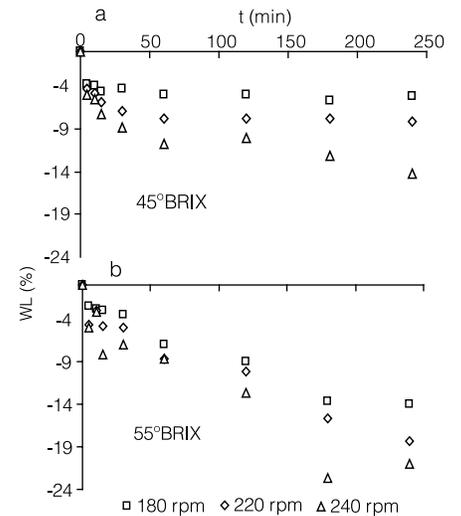


Figura 2. Valores promedios de pérdida de agua (WL) de pitahaya deshidratada osmóticamente a 45°Brix (a) o 55°Brix (b) y a tres niveles de agitación. La pérdida de agua se expresa en porcentaje y en base húmeda.

TABLA II
VALORES DE POROSIDAD ϵ (%) EN PITAHAYA FRESCA Y DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE POR 240MIN A DOS CONCENTRACIONES DE SOLUTOS Y TRES NIVELES DE AGITACIÓN

Concentración (°Brix)	Agitación (rpm)	(Fruta fresca)	DO (240min)
45	180	$2,78 \pm 0,35$	$4,34 \pm 0,18$
	220	$2,78 \pm 0,35$	$4,64 \pm 0,23$
	240	$2,78 \pm 0,35$	$5,01 \pm 0,36$
55	180	$2,78 \pm 0,35$	$5,53 \pm 0,39$
	220	$2,78 \pm 0,35$	$5,96 \pm 0,25$
	240	$2,78 \pm 0,35$	$6,24 \pm 0,47$

TABLA III
ANOVA PARA PÉRDIDA DE AGUA
Y GANANCIA DE SOLUTOS
A 30 Y 240MIN
DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

WL	DF	p (significancia)	
		30min	240 min
Efectos principales:			
A: Concentración	1	0,0002	0,0001
B: Agitación	2	0,0003	0,0001
Interacción			
AB	2	0,0014	0,0022
SG			
Efectos principales:			
A: Concentración	1	0,7781	0,6562
B: Agitación	2	0,3245	0,5897
Interacción			
AB	2	0,884	0,7842

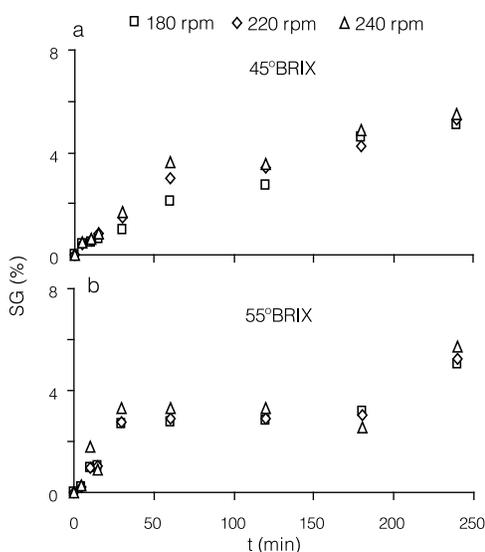


Figura 3. Valores promedio de ganancia de solutos (SG) de pitahaya deshidratada osmóticamente a 45°Brix (a) o 55°Brix (b) y a tres niveles de agitación.

de WL frente al tiempo de proceso para diferentes velocidades de agitación y concentraciones de 45 y 55°Brix, respectivamente. Se observa en estas dos concentraciones osmóticas que la velocidad de agitación influyó positivamente la WL. Para 240min de proceso, los tratamientos a 45°Brix alcanzaron valores de WL que variaron entre 5,25 y 14,24% en base húmeda y los de 55°Brix entre 13,95 y 20,99%. En el análisis de varianza (ANOVA) para 30 y 240min de DO (Tabla III), la agitación mostró un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre

la WL en las dos concentraciones de soluto en estudio. Asimismo, se evidenció un efecto significativo ($p < 0,05$) en la interacción entre los factores concentración y agitación, interacción que indica que las diferencias de WL entre los niveles de agitación varían dependiendo de la concentración. Cabe anotar que los tratamientos de menor concentración (45°Brix) presentaron mayor variación relativa de WL (8,99%) que los tratamientos a 55°Brix (7,04%). Este comportamiento se debe a la menor fuerza impulsora (menor presión osmótica) que presenta la solución de 45°Brix durante el proceso osmótico, haciendo que el efecto de la agitación sea más significativo en la variación relativa de la pérdida de agua.

Por otro lado, el efecto de la agitación sobre la pérdida de agua indica la presencia de una resistencia externa para transferir el agua desde la fruta hacia la solución osmótica, demostrándose así que el transporte de agua no solo está controlado por un mecanismo interno. Resultados similares se encontraron en la DO de castaña (Moreira *et al.*, 2007) y en tomate (Tonon *et al.*, 2007).

Otras explicaciones del efecto de la agitación sobre WL son por el fenómeno de dilución (disminución de la viscosidad) que tiene lugar en la interfase entre la fruta y la

solución osmótica (contacto sólido-líquido); por la renovación permanente de la solución que está en contacto con la fruta, evitando el fenómeno de encostramiento, y por la restauración de la diferencia de concentración entre la fase líquida de la fruta y la solución osmótica.

Con respecto a los sólidos solubles (Figuras 3a, b), se observa que la velocidad de agitación no influyó en la SG en los tratamientos osmóticos en estudio, presentando valores similares al final del proceso entre 5,08 y 5,47% para los tratamientos de 45°Brix y entre 5,03 y 5,71% para 55°Brix.

En el análisis de varianza (ANOVA; Tabla III) para los tiempos de 30 y 240min de DO se evidenció que la agitación no tuvo un efecto significativo ($p > 0,05$) sobre la SG en todos los tratamientos osmóticos. Asimismo, no se evidenció una interacción entre los factores concentración y agitación ($p > 0,05$). La explicación de la ausencia de influencia de la agitación sobre la SG es posiblemente la presencia de una resistencia interna que controla el transporte del soluto de la SO hacia la fase líquida de la fruta. Resultados similares encontraron Tonon *et al.* (2007) en la DO de tomate. Asimismo, los niveles de concentración de solutos de los tratamientos osmóticos no influyeron en la SG, lo cual puede explicarse por la baja porosidad de la estructura matriz de la pitahaya (2,78%), que dificulta la entrada de la molécula de la sacarosa en la fruta. Solo se evidenció incrementos de ganancia de azúcar en todos los tratamientos osmóticos por efecto del tiempo de proceso de DO. Para el tiempo final del proceso (240min) el tratamiento de 55°Brix alcanzó el mayor valor de SG de 5,71%.

En la Figura 4 se presenta, para 240min, los valores de la variación de la relación WL/

SG frente a los niveles de agitación utilizados. Para valores altos de agitación el proceso osmótico es más efectivo, debido a que WL es mayor que la SG. (Matuska *et al.*, 2006; Ravindra y Chattopadhyay, 2000). Se observa que este parámetro se incrementa con el nivel de agitación de las concentraciones en estudio (45 y 55°Brix), obteniéndose los mayores valores a 240rpm con 2602 para 45°Brix y 3677 para 55°Brix. Asimismo, la relación se incrementa con la concentración para un nivel de agitación fijo.

Conclusiones

La deshidratación osmótica se perfila como una opción de pretratamiento para procesos de agroindustrialización de pitahaya amarilla, permitiendo niveles significativos de extracción de agua con bajos niveles en ganancia de

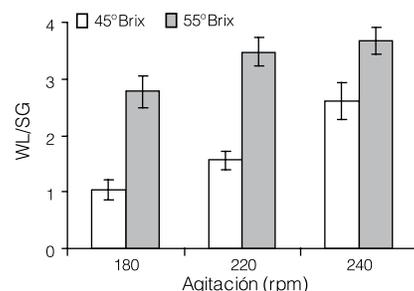


Figura 4. Valores de WL/SG de pitahaya a 240min de proceso osmótico frente a diferentes niveles de agitación.

sólidos, lo cual se considera deseable ya que la fruta fresca presenta un alto contenido de sólidos solubles.

Se evidenció una baja porosidad de la estructura matriz de la pitahaya en estado fresco, con un valor de $2,78 \pm 0,35\%$ y un aumento por efecto de la agitación. La agitación de la solución osmótica mostró un fuerte efecto sobre la pérdida de agua (WL) en rodajas de pitahaya, presentando mayor efecto para los tratamientos deshidratados a 45°Brix. Además se observó que al aumentar la concentración de la solución osmótica se incrementa la WL.

Con respecto a los sólidos solubles, los niveles de agitación y de concentración experimentados no presentaron influencia sobre la ganancia de sacarosa (SG).

El parámetro WL/SG fue influenciado por los niveles de agitación y de concentración de la solución osmodeshidratante. De acuerdo a este parámetro, el tratamiento osmótico a 55°Brix con 240rpm. fue el más efectivo para la extracción de agua en rodajas de pitahaya.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de la República de Colombia y a la Asociación de Productores de Pitahaya (Asoppitaya) por su apoyo a este estudio, que hace parte del proyecto "Alternativas Agroindustriales con Alto Valor Agregado para la Manipulación, Empaque y Conservación de Pitahaya, 2006".

REFERENCIAS

- AOAC (1980) Association of official analytical chemist. Official methods of analysis, 20.013. Washington, DC. EEUU.
- Ayala-Aponte AA, García P, Martínez J, Chiralt A (2002) Cambios estructurales durante la deshidratación osmótica de mango. Efecto del soluto osmótico y del escaldado. *Simpósio Deshidratación: Procesos, Estructura y Funcionalidad*. Valencia, España.
- Beristain CI, Azuara E, Cortés R, García HS (1990) Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *Int. J. Food Sci. Technol.* 25: 576-582.
- CCI (2005) *Manual del Exportador de Frutas, Hortalizas y Tubérculos en Colombia. Pitahaya*. Corporación Colombia Internacional, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia. www.cci.org.co/Manual%20del%20Exportador/Frutas/Pitayapitaya02.htm
- Chavarro LM, Ochoa-Martínez CI, Ayala-Aponte AA (2006) Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (carica papaya L., var. Maradol). *Cièn. Tecnol. Alim. Campinas* 26: 596-603.
- Chenlo F, Moreira R, Pereira G, Ampudia A (2002) Viscosities of aqueous solutions of sucrose & sodium chloride of interest in OD processes. *J. Food Eng.* 54: 347-352.
- Chirife J (1988) Principios de la deshidratación osmótica de frutas. *An. Asoc. Quim. Arg.* 70: 913-932.
- Geankoplis CJ (2003) *Transport Processes and Separation Process Principles*. Prentice-Hall. Upper Saddle River, NJ, EEUU. 49 pp.
- ICONTEC (1996) *Frutas frescas: pitahaya*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Cenicafé. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 3554. Bogotá-Colombia.
- La Font P (1988) *Application de la deshydrtaion osmtique au kiwi: Influence des variables pour Comprendre les Mecanismes Resgissant les Transfer de Maitere*. Memorie D'Ingenieur. E.N.S.N.A. Dijon, Francia.
- Leistner L (1995) Use of hurdle technology in food processing: Recent advances. En Barbosa-CaÁ Novas G, Welti. *Chanes J. Food Preservation by Moisture Control. Fundamentals and Applications: Iso-pow Pract.* II. Technomic. Lancaster, PA, EEUU. pp. 377-396.
- Mandala IG, Anagnostaras EF, Oikonomou CK (2005) Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *J. Food Eng.* 69: 307-316.
- Matuska M, Lenart A, Lazarides HN (2006) On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *J. Food Eng.* 72: 85-91.
- Mendoza R, Schmalko ME (2002) Diffusion coefficients of water and sucrose in osmotic dehydration of papaya. *Int. J. Food Prop.* 5: 537-546
- Moreira R, Chenlo F, Torres MD, Vázquez G (2007) Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. *Lebensm. Wiss. Technol.* 40: 1507-1514.
- Moreira R, Sereno AM (2003) Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. *J. Food Eng.* 57: 25-31.
- Nieto AB, Salvatori DM, Castro MA, Alzamora SM (2004) Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. *J. Food Eng.* 61: 269-278.
- Panagiotou NM, Karathanos VT, Maroulis ZB (1999) Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying Technol.* 17: 175-189.
- Rasgoti NK, Raghavarao KSMS (1996) Kinetics of osmotic dehydration under vacuum. *Lebensm. Wiss. Technol.* 29: 669-672.
- Ravindra MR, Chattopadhyay PK (2000) Optimization of osmotic preconcentration and fluidized bed drying to produce dehydrated quick-cooking potato cubes. *J. Food Eng.* 44: 5-11.
- Rodríguez D, Patiño M, Miranda D, Fischer G, Galvis J (2005) Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 58: 2837-2857.
- Sablani S, Rahman MS, Al-Sadeiri DS (2002) Equilibrium distribution data for osmotic drying of apple cubes in sugar-water solution. *J. Food Eng.* 52: 193-199.
- Sablani SS, Rahman MS (2003) Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. *Food Res. Int.* 36: 65-71.
- Saputra D (2001) Osmotic dehydration of pineapple. *Drying Technol.* 19: 415-425.
- Spiazzi E, Mascheroni R (1997) Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables. I. development of the simulation model. *J. Food Eng.* 34: 387-410.
- Tonon RV, Baroni AF, Hubinger MD (2007) Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *J. Food Eng.* 82: 509-517.
- Van Nieuwenhuijzen NH, Zareifard MR, Ramaswamy HS (2001) Osmotic Drying Kinetics Of Cylindrical Apple Slices Of Different Sizes. *Drying Tech.* 19: 52.
- Wu L-C, Hsu H-W, Chen Y-C, Chiu C-C, Lin YI, Ho JA (2006) Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chem.* 95: 319-327.
- Yan Zhengyong, Gallagher MJS, Liveira FAR (2008) Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *J. Food Eng.* 84: 430-440.