

RECYT

Año 19 / N° 28 / 2017 / 21–27

# Deshidratación osmótica de ananá con reutilización del jarabe de sacarosa

## Pineapple osmodehydration with reuse of the sucrose syrup

Paula Fernández<sup>1</sup>, Nancy Lovera<sup>1,2</sup>, Agostina Romero<sup>2</sup>, Ariel Borsini<sup>1,2</sup>, Laura Ramallo<sup>1,2</sup>

1- IMaM (CONICET-UNaM).

2- FCEQyN, UNaM, Felix de Azara 1552, Posadas, Misiones, Argentina.

\* E-mail: iram@fceqyn.unam.edu.ar

### Resumen

Se analizaron cambios en la eficiencia del proceso, en las características del producto y de la solución hipertónica durante la aplicación de ciclos sucesivos de deshidratación osmótica de ananá, con reutilización de la solución de sacarosa sin reacondicionamiento. En la fruta se evaluó, en cada ciclo, la pérdida de agua, ganancia de soluto, contenido de ácido cítrico y pH; y en el jarabe osmótico los cambios en la transmitancia óptica, contenido de sólidos solubles, contenido de ácido cítrico y pH. El jarabe de sacarosa fue re-utilizado por cinco ciclos sucesivos de deshidratación osmótica a 40° C con agitación constante. Los ensayos se realizaron con concentración inicial del jarabe osmótico de 40 y 60° Brix; dicha concentración al final del quinto ciclo fue de 33 y 45° Brix, respectivamente. En ambos casos, la eficiencia del proceso de deshidratación del quinto ciclo se redujo en un 30% respecto del primero.

Palabras clave: Deshidratación; Ananá; Reutilización del jarabe osmótico.

### Abstract

In this study, changes in the efficiency process, in the characteristics of the product and the hypertonic solution were analyzed during the application of successive cycles of osmotic dehydration of pineapple reusing the solution of sucrose without reconditioning. In each cycle it was evaluated water loss, solute gain, citric acid content and pH in the fruit; and changes in optical transmittance, soluble solids content, citric acid content and pH in the osmotic syrup. The sucrose syrup was reused for five successive cycles of osmotic dehydration at 40° C with constant stirring. Trials were performed with initial concentration of osmotic syrup of 40 and 60° Brix; this concentration at the end of the fifth cycle was 33 and 45° Brix, respectively. In both cases, the efficiency of the dehydration process of the fifth cycle was reduced by 30% in comparison to the first cycle.

Key words: Dehydration, Pineapple, Reuse of osmotic syrup.

### Introducción

La deshidratación osmótica es una técnica que ha sido ampliamente aplicada para reducir el contenido de agua de vegetales con poca alteración de sus características originales. En este proceso la humedad del alimento se reduce sin incluir cambios de fase, directamente en forma de agua líquida, lo que permite un considerable ahorro energético respecto de otras tecnologías como el secado tradicional con circulación de aire [1]. No obstante la industria alimentaria no ha implementado esta tecnología en la magnitud de las expectativas [2]. Una de las restricciones de su aplicación industrial es el gran volumen y las dificultades del manejo del efluente resultante a partir del jarabe osmótico [3].

Durante el proceso de deshidratación osmótica se producen dos fenómenos de transferencia de masa en

contracorriente. En primer lugar, la salida de agua desde el sólido a la solución osmótica, en segundo lugar, una transferencia de soluto desde la solución osmótica hacia el alimento [4, 5]. El flujo de agua puede producir el arrastre de sustancias hidrosolubles propias del tejido alimenticio (azúcares, ácidos orgánicos, minerales, vitaminas) hacia la solución osmótica [6, 7, 8, 9]. Este flujo de sustancias desde el sólido es cuantitativamente no significativo en comparación con las dos corrientes antes mencionadas (agua y soluto), pero esencial con respecto a la composición del producto y a los cambios del jarabe osmótico.

La posibilidad de reciclar la solución osmótica (SO) es muy importante para que el proceso sea económicamente viable y ambientalmente amigable [10]. La reutilización de la SO en más de un ciclo de deshidratación está condicionada por los cambios que se produzcan en la composición de la solución; asimismo estos cambios

están estrechamente vinculados a la naturaleza de la fruta tratada y a las condiciones del proceso. Así, la dilución progresiva en cada ciclo podría afectar negativamente la velocidad de transferencia de masa durante el proceso [11, 9], como así también la relación pérdida de agua/ganancia de soluto. Para su reciclaje debería considerarse no sólo la variación en el contenido de agua, sino también otros cambios fisicoquímicos como la turbidez, el pH, etc. que podrían afectar la calidad del producto final.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar cambios en la eficiencia del proceso, en calidad del producto y de la solución hipertónica cuando el jarabe de sacarosa es re-utilizado sin reacondicionamiento en cinco ciclos sucesivos de deshidratación osmótica de ananá, aplicando dos condiciones de operación iniciales (40 y 60° Brix) y manteniendo constante la relación masa de jarabe/masa de fruta en cada ciclo de deshidratación.

### Materiales y Métodos

**Preparación de las muestras.** Frutas maduras (de aproximadamente 12° Brix) de *Ananas comosus* cv. Cayena lisa fueron manualmente lavadas con agua clorada, peladas y seccionadas en láminas constituidas por medias rodajas de 0,60 ± 0,05 cm de espesor y 11,5 ± 0,5 cm de diámetro; con un sacabocados se retiró el centro de la fruta.

**Deshidratación osmótica.** Se efectuaron 5 ciclos sucesivos de deshidratación osmótica de ananá, reutilizando la solución hipertónica de sacarosa sin alteración alguna en su composición, y renovando la fruta en cada ciclo. Estos estudios se efectuaron partiendo de solución hipertónica de sacarosa de 40 y 60° Brix.

Cada ciclo de deshidratación osmótica se llevó a cabo colocando las muestras de fruta fresca en vasos de precipitado conteniendo solución acuosa de sacarosa comercial a 40° C. El sistema se mantuvo a temperatura y agitación constante en baño termostático con movimiento alternativo de 70 o.p.m. (modelo Dubnoff, VICKING SRL, Argentina), durante 2 horas. La relación masa jarabe/masa de fruta fue de 6/1 en cada uno de los ciclos.

Al inicio y final de cada ciclo se evaluó el contenido de sólidos solubles, pH y contenido de ácido cítrico en la solución osmótica y en la fruta. La transmitancia óptica de la solución hipertónica se cuantificó al inicio de proceso y al finalizar el quinto ciclo. Todas las determinaciones se efectuaron por triplicado.

Se cuantificó la variación de masa y contenido de agua en la fruta de ananá en cada ciclo de deshidratación osmótica. A partir de estos datos y suponiendo que se producen únicamente dos flujos simultáneos y en contracorriente, se calculó la reducción de peso ( $\Delta M$ ), la pérdida de agua ( $\Delta W$ ) y la ganancia de azúcar ( $\Delta S$ ) en cada muestra de fruta, de acuerdo a las Ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente.

$$\Delta M = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \quad (1)$$

$$\Delta W = \frac{M_0 X_0 - M_t X_t}{M_0} \quad (2)$$

$$\Delta S = \Delta W - \Delta M \quad (3)$$

Donde: M0 es la masa inicial de la muestra (kg); Mt es la masa de la muestra deshidratada (kg); X0 es el contenido de agua inicial de la fruta (kg de agua/kg de fruta); Xt es el contenido de agua en la fruta procesada durante un período tiempo t (kg de agua/kg de fruta).

**Contenido de agua.** El contenido de agua de la fruta fresca y procesada se determinó gravimétricamente, mediante secado en estufa a 75 ± 1 °C hasta pesada constante (≈ 48 horas).

**Sólidos solubles.** Al inicio y final de cada ciclo se evaluó el contenido de sólidos solubles (° Brix) de la fruta y de la solución hipertónica de sacarosa mediante lectura en refractómetro digital (modelo HI96801, Hanna Instrument, Rumania), adaptación de la técnica 932.12 de la AOAC [12]. En la fruta, se efectuó la lectura del jugo obtenido por simple compresión mecánica de la muestra.

**Acidez titulable y pH.** El contenido de ácido cítrico, evaluado como acidez titulable, se determinó aplicando una adaptación del método AOAC 942.15 [13], por titulación con solución de hidróxido de sodio 0,1 N y expresada como g de ácido cítrico por 100 g de fruta y en g de ácido cítrico por 100 ml del jarabe osmótico. A tal fin, se homogeneizó con mixer (modelo HR1363, Philips, Argentina) 10 g de fruta con 90 ml de agua destilada durante 1 min y se enrasó a 100 ml con agua destilada. Esta solución se utilizó para cuantificar el pH de la fruta mediante lectura directa del potenciómetro (TPA-III, Altronix, Argentina), previamente calibrado con buffer pH 4 y pH 7 y posteriormente evaluar la acidez de la fruta mediante titulación con NaOH 0,1N. Para cuantificar el pH y la acidez titulable en el jarabe osmótico se tomaron 10 ml del mismo, se agregaron 90 ml de agua destilada y se procedió del modo descrito para la fruta.

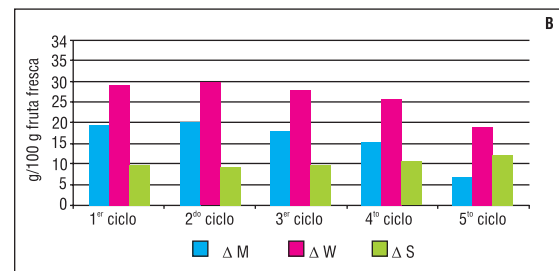
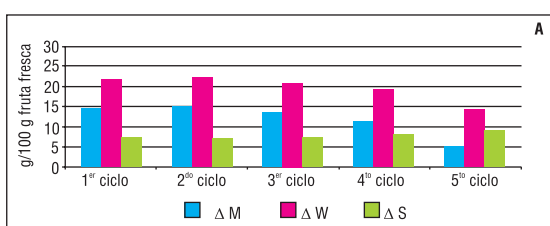
**Transmitancia óptica.** Los cambios de color de la solución osmótica fueron evaluados a través de lecturas de transmitancia a 600 nm en un espectrofotómetro UV-VIS (UV-2550, Shimadzu, Japón).

### Resultados y Discusión

#### Pérdida de agua y ganancia de sacarosa en la fruta

Durante el proceso de deshidratación osmótica la migración de agua desde la fruta puede producir dilución del jarabe osmótico, alterando así la cinética de deshidratación del sólido. En los procesos con reutilización del jarabe ese efecto podría acrecentarse con el número de ciclos. Asimismo algunos sólidos solubles naturalmente presentes en la fruta pueden ser arrastrados con la corriente de agua;

la presencia de estos componentes en el jarabe osmótico podría incrementarse con la reutilización del mismo. La dilución y la incorporación de otros compuestos químicos en la solución osmótica podrían alterar el flujo de agua desde la fruta ( $\Delta W$ ) como así también la migración de soluto ( $\Delta S$ ). En la Figura 1 se muestran los valores medios y desvío estándar, en forma de barras de error, de pérdida de masa, pérdida de agua e incorporación de sacarosa en láminas de ananá durante 5 ciclos de deshidratación osmótica a 40 y 60° Brix y 40° C, con reutilización del jarabe osmoactivo. Si bien los valores de  $\Delta W$  descienden y de  $\Delta S$  se incrementan con el aumento del número de ciclos, el análisis estadístico (ANOVA) señala que no existen diferencias significativas ( $p \geq 0,05$ ) entre los valores de estos parámetros en diferentes ciclos para cada condición de operación (40 y 60° Brix) hasta el tercer ciclo de deshidratación osmótica de ananá. Se registró un marcado descenso en los valores de pérdida de agua en el quinto ciclo de DO respecto del primero, siendo de 36% y de 23% en los procesos con condiciones iniciales de 40 y 60° Brix. Peiró-Mena y col. [9] evaluaron el efecto de la aplicación de ciclos sucesivos de DO de ananá en jarabe de sacarosa de 55° Brix con relación masa de jarabe/masa de fruta de 20/1 y concluyeron que en 15 ciclos sucesivos de DO sin reacondicionamiento del jarabe osmótico el nivel de deshidratación de la fruta no se altera significativamente. Por comparación con nuestros resultados se puede inferir que la relación masa de jarabe/masa de fruta es un factor determinante para establecer el número de veces que puede re-utilizarse la solución osmótica salvaguardando la uniformidad de los resultados. Por otra parte, la ganancia de soluto se incrementó un 29 y 27% a 40 y 60° Brix respectivamente, en el quinto ciclo de DO respecto del primero; lo cual indicaría un incremento en la ganancia de sacarosa en ananá con la reducción de la concentración del jarabe osmótico. Esto puede atribuirse a la formación de una capa saturada en el soluto osmótico que se produce en la superficie del producto a concentraciones de solución más altas, lo que disminuye la fuerza impulsora entre la solución y el producto, reduciendo la velocidad de transferencia de masa. Nuestros resultados son concordantes con los publicados por Jena y Das [14], quienes señalaron que el incremento de la concentración del jarabe osmótico origina reducción en los valores del coeficiente de difusión del agua durante la DO de ananá sin reutilización del jarabe.



**Figura 1:** Pérdida de masa ( $\Delta M$ ), pérdida de agua ( $\Delta W$ ) e incorporación de sacarosa ( $\Delta S$ ) en láminas de ananá durante 5 ciclos de deshidratación osmótica a (a) 40° Brix y (b) 60° Brix, con reutilización del jarabe osmoactivo.

Los procesos de deshidratación osmótica se diseñan normalmente con el objetivo de maximizar la remoción de agua mientras se restringe la absorción de sólidos, para obtener un producto con características organolépticas similares a la del alimento fresco. La relación entre la pérdida de agua y la ganancia de soluto es un buen índice de la eficiencia del proceso [7]. En la Tabla 1 se muestran los valores medios de la eficiencia de los diferentes ciclos en las dos condiciones aplicadas (40 y 60° Brix), considerando la eficiencia como la relación  $\Delta W/\Delta S$ . La eficiencia de los procesos de 2 h de deshidratación osmótica de ananá, con reutilización del jarabe de sacarosa sin reacondicionamiento, decrece con el número de ciclos, este efecto es más marcado partiendo de una concentración de sacarosa de 40° Brix que de 60° Brix, cuando la relación masa de jarabe/masa de fruta en cada ciclo fue de 6/1. Esta reducción de la eficiencia del proceso vincula los efectos simultáneos de descenso de pérdida de agua y de incremento en la ganancia de soluto con la dilución del jarabe osmótico.

**Tabla 1:** Valores medios de la relación  $\Delta W/\Delta S$  en cada ciclo de 2 h de deshidratación osmótica de láminas de ananá, para cada condición de operación

	Eficiencia, $\Delta W/\Delta S$	
	40° Brix	60° Brix
1er ciclo	3,01±0,23 a	3,23±0,29 a
2do ciclo	3,13±0,35 a	2,84±0,21 a
3er ciclo	2,81±0,28 a	2,89±0,25 a
4to ciclo	2,45±0,18 b	2,38±0,27 b
5to ciclo	1,56±0,03 c	1,97±0,23 b

\*Letras diferentes en cada columna señalan diferencias significativas entre los valores a un nivel de significancia del 95% ( $p < 0,05$ )

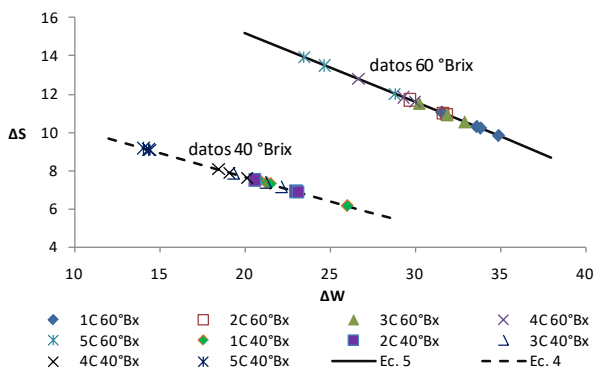
En el proceso de deshidratación osmótica la transferencia de masa es una compleja combinación de flujos de agua y solutos en contracorriente, usualmente descritos como ecuaciones diferenciales independientes pero que deben ser resueltas de forma simultánea, su determinación exige extenso trabajo experimental y teórico para cada condición de operación ensayada. Por ello es importante el desarrollo de ecuaciones matemáticas sencillas que involucren las variables más relevantes del proceso y que estas relaciones sean independientes de las condiciones de operación [15].

De este modo se podría controlar el proceso mediante ensayos físicos sencillos, como el cambio de peso o el contenido de sólidos solubles, para obtener alimentos con características definidas. En base a lo antes descrito y con el objetivo de evaluar la factibilidad de encontrar correlaciones generales y simples para la variación de ΔW y ΔS, en el presente estudio los datos experimentales de pérdida de agua y ganancia de sacarosa se analizaron y se muestran de manera conjunta en la Figura 2. Como puede verse en dicha figura, para cada condición de operación todos los datos se alinean en forma consecutiva de acuerdo al número de ciclo correspondiente, con clara superposición de los resultados en gran parte del conjunto. Del análisis de regresión de los datos, realizado de modo independiente para cada condición de trabajo, resultan dos ecuaciones lineales (Ecuaciones 4 y 5, datos a 40 y 60° Brix respectivamente) con R2 = 0,999, lo cual señala la estrecha correlación existente entre las variables ΔW y ΔS.

$$\Delta S = 12,73 - 0,25 \Delta W \tag{4}$$

$$\Delta S = 22,39 - 0,36 \Delta W \tag{5}$$

Floury y col. [16] determinaron una relación lineal entre ΔW y ΔS durante DO de mango. Tocci y Mascheroni [17] encontraron relaciones similares entre el contenido de sólidos solubles (SS) y el contenido de agua (WC) durante DO de kiwi en soluciones de sacarosa. Ramallo y Mascheroni [7] hallaron una ecuación lineal que vincula el contenido de sacarosa y de agua en la fruta de ananá durante el proceso de deshidratación en solución de sacarosa. Posteriormente, Rodríguez y Mascheroni [15] verificaron una correlación lineal entre SS y WC de frutas frescas y osmodeshidratadas de kiwis, pera, manzana, nectarina, ciruela, melón y frutilla. La correlación para cada fruta fue independiente del tipo de soluto, temperatura, agitación y concentración de la solución osmótica, tamaño y forma de las muestras y variedad de fruta. Sin embargo, nuestros datos experimentales de SS y WC (gráficas no mostradas) no presentan buena correlación (R2 ≤ 0,44).



**Figura 2:** Valores medios de ganancia de sacarosa (ΔS) versus pérdida de agua (ΔW) en los 5 ciclos de DO, a 40 y 60° Brix. Las líneas, continua y de puntos, representan los resultados obtenidos mediante las Ec. 4 y 5.

**Acidez titulable, pH y contenido de sólidos solubles en la fruta**

Los datos presentados en la Tabla 2 señalan que si bien el pH de la fruta de ananá es levemente menor después del proceso de 2 h de deshidratación osmótica en los tres primeros ciclos, dichas variaciones del pH de la fruta por efecto del proceso no son significativas (p ≥ 0,05). Asimismo, se registró un incremento en los valores del pH de la fruta (p ≤ 0,05) en los siguientes ciclos. Este comportamiento se repitió en las dos condiciones de trabajo aplicadas (40 y 60° Brix).

En lo que respecta al contenido de sólidos solubles en la fruta, se registró un incremento significativo de estos valores (p ≤ 0,05) durante el proceso de DO y esta variación no tuvo dependencia con el número veces que fuera reutilizado el jarabe osmótico o número de ciclo en el ensayo a 40° Brix; a 60° Brix el valor cuantificado de SS fue significativamente mayor en los dos últimos ciclos respecto de los tres primeros.

En todos los casos, la DO implica una considerable pérdida de ácido cítrico (AC) de las muestras (p < 0,05). Para cuantificar la pérdida de ácido cítrico (AC) en ananá por efecto de la DO, en las muestras de fruta deshidratada los resultados también se expresan en mg de AC en 100 g de fruta fresca. En la Tabla 3 se presentan, además, los resultados en mg de AC en 100 g de fruta osmodeshidratada. Si bien se observan fluctuaciones en los resultados de pérdida de AC, se registra tendencia al incremento de estos valores con el número de ciclo y con la concentración del jarabe osmótico, siendo el porcentaje de pérdida de AC inferior en los ensayos a 40° Brix respecto de aquellos a 60° Brix (Tabla 3) aunque estas diferencias, entre los tratamientos, no son significativas en los dos primeros ciclos. Así, estos resultados pueden resumirse en un promedio de pérdida de AC de 19% en los ciclos 1 y 2 y de 25 y 30% (p < 0,05) en los ciclos 3, 4 y 5, en condiciones de operación de 40 y 60° Brix respectivamente.

**Tabla 2:** Valores medios y desvío estándar del contenido de sólidos solubles (SS), pH, y humedad de fruta fresca (FrFr) y osmodeshidratada (Fr OD) de ananá en cada ciclo de deshidratación osmótica (1–5), en dos condiciones de operación (40 y 60° Brix).

		40° Brix		
	Muestra	SS (° Brix)	pH	Humedad (g/100 g fr)
	Fr Fr	8,71±0,10	3,31±0,11	89,99±2,12
1er ciclo	Fr OD1	19,10±0,96	3,27±0,04	79,83±0,21
2do ciclo	Fr OD2	21,92±0,42	3,12±0,07	79,85±0,47
3er ciclo	Fr OD3	22,55±0,17	3,14±0,06	78,22±1,85
4to ciclo	Fr OD4	19,73±0,80	3,53±0,05	81,44±1,13
5to ciclo	Fr OD5	23,35±2,20	3,63±0,04	79,16±1,81

		60° Brix		
	Muestra	SS (°Brix)	pH	Humedad (g/100 g fr)
	Fr Fr	8,75±0,07	3,31±0,11	89,99±2,12
1 <sup>er</sup> ciclo	Fr OD1	26,10±0,00	3,20±0,03	73,53±0,56
2 <sup>do</sup> ciclo	Fr OD2	26,72±0,97	3,05±0,08	73,17±0,25
3 <sup>er</sup> ciclo	Fr OD3	25,12±2,83	3,26±0,27	73,92±1,26
4 <sup>to</sup> ciclo	Fr OD4	31,55±1,05	3,53±0,03	74,17±1,10
5 <sup>to</sup> ciclo	Fr OD5	32,93±1,05	3,61±0,04	73,70±1,21

**Tabla 3:** Valores medios  $\pm$  desvío estándar del contenido de ácido cítrico (AC) en fruta fresca (FrFr) y osmodeshidratada (Fr OD) de ananá y % de pérdida en cada ciclo de deshidratación osmótica (1–5), en dos condiciones de operación (40 y 60° Brix).

muestra	40° Brix		60° Brix	
	AC (g/100 g prod.)	AC (g/100 g FrFr)	AC (g/100 g prod.)	AC (g/100 g FrFr)
FrFr	0,96±0,01	0,96±0,01	0,97±0,01	0,97±0,01
Fr OD1	0,94±0,05	0,79±0,04	0,99±0,14	0,76±0,12
% pérdida		18		21
Fr OD2	0,92±0,01	0,78±0,01	0,98±0,03	0,79±0,03
% pérdida		19		18
Fr OD3	0,83±0,01	0,72±0,01	0,87±0,02	0,69±0,02
% pérdida		25		29
Fr OD4	0,82±0,02	0,72±0,02	0,82±0,03	0,68±0,03
% pérdida		25		30
Fr OD5	0,77±0,02	0,73±0,02	0,76±0,05	0,66±0,04
% pérdida		24		32

### Características de la solución de sacarosa

Los datos de la dilución de la solución de sacarosa en cada ciclo son de gran importancia para el diseño de un proceso industrial. Esta dilución está ligada a las condiciones de operación. En el presente estudio se aplicó una relación masa de solución osmótica a masa de fruta relativamente baja (6:1), lo cual generó variación apreciable en la concentración de jarabe durante el proceso. Como puede observarse en la Tabla 4 la dilución del jarabe de sacarosa se incrementa con el número de ciclo y con la concentración original de sacarosa; así, al final del quinto ciclo la concentración del jarabe osmótico fue de 33,2 y 45,0° Brix, cuando la concentración original fue de 40 y 60° Brix respectivamente, lo cual revela un decremento de la concentración de sacarosa del 17% y 25% respectivamente. El incremento de la dilución del jarabe osmótico de modo directo con la concentración de la solución de trabajo, se explica con el hecho de que al incrementarse la presión osmótica del medio aumenta la velocidad de pérdida de agua de la fruta como se observa en las Figuras 1 (a) y 1 (b). Los porcentajes de dilución obtenidos en el presente estudio son marcadamente superiores a los publicados por Peiró-Mena y col. [9] en un estudio de deshidratación osmótica de ananá con re-utilización del jarabe en ciclos sucesivos,

lo que puede atribuirse a la diferencia en las condiciones de operación, especialmente al valor de relación masa de jarabe /masa de fruta (20/1).

Asimismo puede verse que los cambios en la composición del jarabe osmótico afectan los valores de pérdida de agua y ganancia de soluto de la fruta (Tablas 1 y 4), siendo especialmente notorias las variaciones en estos parámetros en los ciclos 4 y 5.

**Tabla 4:** Valores medios del contenido de sólidos solubles (SS), pH y contenido de ácido cítrico (AC) en la solución osmótica fresca (SO0) y al final de cada ciclo de deshidratación osmótica (SO1, SO2, etc.), en los ensayos a 40 y 60° Brix

		40° Brix		
	Muestra	SS (° Brix)	pH	AC (g/100 ml)
	SO0	40,0	6,32	0
1 <sup>er</sup> ciclo	SO1	38,4	4,65	0,04
2 <sup>do</sup> ciclo	SO2	36,4	4,40	0,08
3 <sup>er</sup> ciclo	SO3	35,3	3,47	0,11
4 <sup>to</sup> ciclo	SO4	32,5	3,70	0,14
5 <sup>to</sup> ciclo	SO5	33,2	3,60	0,17

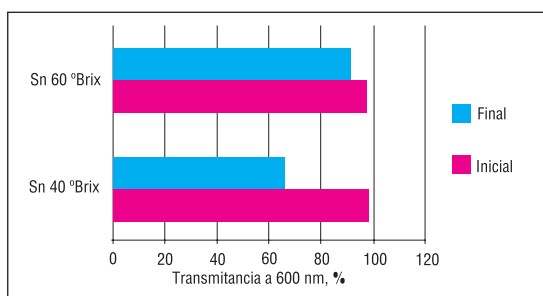
		60° Brix		
	Muestra	SS (° Brix)	pH	AC (g/100 ml)
	SO0	60,0	6,07	0
1 <sup>er</sup> ciclo	SO1	58,3	5,67	0,01
2 <sup>do</sup> ciclo	SO2	57,4	5,71	0,05
3 <sup>er</sup> ciclo	SO3	48,9	3,65	0,12
4 <sup>to</sup> ciclo	SO4	45,1	3,60	0,17
5 <sup>to</sup> ciclo	SO5	45,0	3,40	0,15

Las variaciones más notorias en los valores de pH del jarabe osmótico se registraron en los primeros ciclos (Tabla 4) y estos cambios fueron más drásticos en la solución de 40° Brix que en la de 60° Brix. El pH desciende hasta alcanzar valores próximos al de la fruta al tercer ciclo y sin registrarse variaciones significativas en ciclos sucesivos ni diferencias entre las condiciones del proceso de DO. Observaciones similares fueron publicadas por Valdez-Fragoso y col. [10] en un estudio de deshidratación de manzanas a 60° Brix y por García-Martínez y col. [6] en deshidratación osmótica de kiwi a 55° Brix, ambos con reutilización del jarabe osmótico. Estos autores resaltan la importancia del descenso del pH en la estabilidad microbológica de la solución.

Por otra parte, en la Tabla 4 se puede observar que el contenido de ácido cítrico en el jarabe de sacarosa se incrementa con el número de ciclos, lo cual está relacionado con la reducción del mismo compuesto en la fruta durante cada ciclo de deshidratación. A diferencia del pH que tiende a estabilizarse a partir del tercer ciclo, la concentración de AC aumenta linealmente con el número de ciclos, lo cual podría explicarse por la presencia de compuestos buffer en la fruta y por el hecho de que la mayoría de los

ácidos orgánicos (ácido cítrico en este caso) son ácidos débiles, y por lo tanto los cambios en su concentración no afectarían el pH. Estos resultados son concordantes con los publicados por Peiró-Mena y col. [9] y Germer y col. [18].

La transmitancia óptica de la solución osmótica fresca se sitúa en el rango de 94-98% respecto del agua pura y no depende de la concentración de sacarosa, en las condiciones del presente trabajo (40-60° Brix). Después de la reutilización en cinco ciclos consecutivos de DO, los valores de transmitancia óptica disminuyen en relación inversa a la concentración de sacarosa (Figura 3). Cabe mencionar que estos cambios en las características de calidad del jarabe no son un factor limitante para su posterior reciclado en otras formulaciones de productos u otros procesos de DO.



**Figura 3:** Comparación gráfica y estadística de los resultados promedio de las medidas de transmitancia a 600 nm de las soluciones hipertónicas antes del proceso osmótico (inicial) y al final del quinto ciclo (final).

### Conclusiones

Es viable reutilizar el jarabe de sacarosa en la DO de ananá un número de veces limitado cuando la relación masa de jarabe/masa de fruta es de 6/1. La efectividad del proceso de deshidratación osmótica de ananá con reutilización del jarabe de sacarosa sin reacondicionamiento decrece con el número de ciclos. A pesar de ello no se registraron diferencias significativas entre los resultados de pérdida de agua y de ganancia de sacarosa hasta el tercer ciclo consecutivo de DO; este comportamiento se repitió en las dos condiciones de trabajo aplicadas (40 y 60° Brix). En cuanto a las características del jarabe de sacarosa se registró reducción de la concentración de sacarosa y del pH, incremento del contenido de ácido cítrico y disminución en los valores de transmitancia óptica con el número de ciclo. A diferencia del pH que se estabilizó a partir del tercer ciclo en valores próximos al de la fruta, la concentración de ácido cítrico aumentó linealmente con el número de ciclos. Por otra parte, comparando los resultados de ensayos de deshidratación osmótica a 40 y 60° Brix, los valores de transmitancia óptica del jarabe se redujeron en relación inversa a la concentración inicial de sacarosa.

### Bibliografía

1. Tortoe, C. *A review of osmodehydration for food industry*. African Journal of Food Science, 4: p. 303-324. 2010.
2. Yao, Z.; Le Maguer, M. *Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes*. Part I: conceptual and mathematical model. J. Food Eng. 29: p. 349-360. 1996.
3. Rahman, MS.; Perera, CO. *Drying and food preservation*. In: Handbook of food preservation. Rahman, MS (Ed). Marcel Dekker, New York, USA. p. 173-216. 1999.
4. Fito, P.; Chiralt, A.; Barat, J.; Salvatori, JD; Andrés, A. *Some advances in osmotic dehydration of fruit/Algunos avances en deshidratación osmótica de frutas*. Food science and technology international, 4(5): p. 329-338. 1998.
5. Ramallo, LA.; Schvezov, C.; Mascheroni, RH. *Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple*. Food Science and Technology International, 10: p. 323-332. 2004.
6. García-Martínez, E.; Martínez-Monzó, J.; Camacho, MM.; Martínez-Navarrete, N. *Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation*. Food Research International, 35: p. 307-313. 2002.
7. Ramallo, LA.; Mascheroni, RH. *Rate of water loss and sugar uptake during the osmotic dehydration of pineapple*. Brazilian Archives of Biology and Technology, 48 (5): p. 761-770. 2005.
8. Peiró-Mena, R.; Dias, VMC.; Camacho, MM.; Martínez-Navarrete, N. *Micronutrient flow to the osmotic solution during grapefruit osmotic dehydration*. Journal of Food Engineering, 74 (3): p. 299-307. 2006.
9. Peiró-Mena, R.; Camacho, M M.; Martínez-Navarrete, N. *Compositional and physicochemical changes associated to successive osmodehydration cycles of pineapple (Ananas comosus)*. Journal of Food Engineering, 79(3): p. 842-849. 2007.
10. Valdez-Fragoso, A.; Welte-Chanes, J.; Giroux, F. *Properties of sucrose solution reused in osmotic dehydration of apples*. Drying Technology, 6(7): p. 1429-1445. 1998
11. Dalla Rosa M; Giroux F. *Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management*. Journal of Food Engineering, 49(2): p. 223-236. 2001.
12. AOAC. *Official Method 932.12 Solids (Soluble) in Fruits and Fruit Products Refractometer Method*. Official method of Analysis of AOAC International, 37, p. 15. 1995.
13. AOAC. *Official Method 942.15 Acidity (Titrable) of Fruit Products*. Official method of Analysis of AOAC International, 37, p.10. 2005.
14. Jena, S; Das, H. *Modelling for moisture variation during osmo-concentration in apple and pineapple*. Journal of Food engineering, 66(4): p. 425-432. 2005.
15. Rodríguez, A.; Mascheroni, R. H. *Generalized correlations for characteristic variables and thermophysical properties of osmotically dehydrated fruits*. Drying Technology, 30: p. 1323-1331. 2012

16. Flourey, J.; Pham, Q.T.; Le Bail, A. *A COMSOL simulation of the osmotic dehydration of mango*. In 4th International Conference on Simulation and Modelling in the Food Industry, FOODSIM'2006, Napoli, Italy, June 13–15, 2006.
17. Tocci, A.M.; Mascheroni, R.H. *Some thermal properties of fresh and osmotically dehydrated kiwifruit above and below initial freezing temperature*. *Journal of Food Engineering*, 88: p. 20–27. 2008.
18. Germer, SPM; Queiroz, MR; Aguirre, JM; Berbari, SA; Silveira, NFA. *Reuse of Sucrose Syrup in the Osmotic Dehydration of Peaches*. *Drying Technology*, 30: p. 1532–1540. 2012.

Recibido: 22/02/2017.

Aprobado: 25/09/2017.