

# Deshidratación osmótica de papas

P. A. Della Rocca, J. M. Languasco, G. C. Celma, R. H. Mascheroni

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Buenos Aires  
Departamento de Ingeniería Química  
Medrano 951  
(C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina  
e-mail: [patriciadellarocca@hotmail.com](mailto:patriciadellarocca@hotmail.com)

Recibido el 17 de septiembre de 2007; aceptado el 15 de diciembre de 2007

## Resumen

El uso de la deshidratación osmótica en la industria de alimentos mejora la calidad de los alimentos en términos de color, flavour y textura y produce un incremento en la eficiencia energética, ya que se trabaja a temperaturas moderadas (10-40 °C) sin cambio de fase. En consecuencia, el consumo de energía se reduce significativamente. Además, para aquellos productos que requieran luego congelación, se puede reducir la carga de refrigeración al disminuir el contenido de humedad; los costos de distribución y envasado disminuyen al producirse una pérdida de peso global en el proceso; no se requieren tratamientos químicos para reducir el pardeamiento enzimático, que puede evitarse con el proceso de deshidratación osmótica por la absorción de azúcares protectores, y aumenta la estabilidad del producto debido a una disminución en la actividad de agua por la ganancia de soluto y la pérdida de agua que se produce durante el proceso. Cuanto más baja es la actividad de agua, el deterioro por reacciones químicas, el crecimiento de microorganismos y la producción de toxinas en el alimento es menor. Cabe resaltar que en la deshidratación osmótica la retención de los nutrientes durante el almacenamiento resulta mayor. En este trabajo se lleva a cabo la búsqueda de las condiciones óptimas de deshidratación osmótica de papas, con el objeto de obtener la mayor pérdida de agua del producto; se determina luego el coeficiente de difusión del agua para estas condiciones.

**PALABRAS CLAVE:** SECADO - DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA - DESHIDRATACIÓN DE PAPAS

## Abstract

The use of osmotic dehydration in the food industry improves colour, flavour and texture, and produces an increase in the energetic efficiency, since the dehydration temperatures are moderate (10-40 °C) without phase change. Consequently, the energy consumption is appreciably reduced. Moreover, for products that need posterior congelation, the refrigeration load is reduced because the moisture content decreases; the distribution and packaging costs diminishes, as the global weight loss increases; a chemical treatment is not necessary to reduce enzymatic browning, due to the absorption of protective sugar, and the stability product increases, as a consequence of the water activity reduction. The lower the water activity, the lower the damage for chemical reactions, microorganisms growth and toxin production. It is noteworthy mentioning that the nutrient retention during the storage is higher. In this work the search of the osmotic dehydration optimal conditions for potatoes is carried out with the aim to obtain the maximum water loss; the water diffusion coefficient in these conditions is then calculated.

**KEYWORDS:** DRYING - OSMOTIC DEHYDRATION - POTATOES DEHYDRATION

## Introducción

La deshidratación osmótica es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica sin dañar el alimento ni afectar su calidad (Mascheroni, 2002).

Algunos solutos solubles del alimento se pierden al ser arrastrados por el agua. Asimismo, tiene lugar una ganancia de solutos por parte del alimento desde la solución.

El transporte de masa en la deshidratación osmótica depende de varios factores: del producto, de la solución hipertónica y de condiciones del proceso.

El objetivo del presente trabajo es la búsqueda de las condiciones óptimas de trabajo (concentración de sacarosa y de sal, temperatura, relación masa de solución a masa de papa, tiempo de deshidratación) y la determinación del coeficiente de difusión del agua durante la deshidratación osmótica.

## Características generales del proceso

La remoción del agua se realiza mediante dos mecanismos: por flujo capilar y difusivo, mientras que el transporte de solutos, ya sea de consumo o de lixiviación, se realiza sólo por difusión.

Se desarrolla una etapa transitoria, durante la cual la velocidad de transferencia de masa aumenta o disminuye hasta llegar al equilibrio. Cuando éste se alcanza, la velocidad de transporte neta de masa es nula y es el final del proceso osmótico.

Se observan significativas modificaciones en el volumen, la forma y la estructura del alimento, así como también variaciones apreciables en los valores de los coeficientes de difusión y de transferencia de masa durante el transcurso del proceso.

La pérdida de agua puede ser aproximadamente del 50-60 % de su contenido inicial. Es decir que la deshidratación osmótica no disminuye la actividad acuosa del alimento de manera tal de estabilizarlo totalmente, sino que sólo extiende su vida útil, de allí la necesidad de aplicar otros procesos posteriores, como secado, congelado o liofilizado, entre otros (Rahman y Perera, 1996).

## Factores que afectan el proceso de deshidratación osmótica

La transferencia de masa durante la deshidratación osmótica ocurre a través de las membranas celulares. La permeabilidad de las mismas puede variar de parcial a total, provocando cambios significativos en la arquitectura de los tejidos.

Durante el proceso, el frente de deshidratación se mueve desde la superficie externa hacia el centro (Mascheroni, 2002). El esfuerzo osmótico asociado puede causar desintegración celular, que puede atribuirse a la reducción de tamaño causada por la pérdida de agua, resultando en la pérdida de contacto entre la membrana celular externa y la pared celular.

Los factores principales que influyen en el proceso de deshidratación osmótica son Rahman y Perera, 1996):

### a) Tipo de agente osmótico

Los más comúnmente usados son la sacarosa para frutas y el cloruro de sodio para vegetales, pescados y carnes, si bien también mezclas de solutos han sido probadas.

Otros agentes osmóticos pueden ser: glucosa, fructosa, dextrosa, lactosa, maltosa, polisacáridos, maltodextrina, jarabes de almidón de maíz y sus combinaciones.

La elección dependerá de varios factores tales como costo del soluto, compatibilidades organolépticas con el producto y preservación adicional otorgada por el soluto al producto final.

### b) Concentración de la solución osmótica

El aumento de la concentración de la solución disminuye la actividad del agua, por lo que incrementa la pérdida de agua del producto y la velocidad de secado. Además se forma una capa de soluto que actúa como barrera sobre la superficie del alimento, reduciendo la pérdida de nutrientes; sin embargo, muy altas concentraciones pueden dificultar la pérdida de agua por esta razón.

Si se utilizan mezclas de sacarosa y sal, la sal disminuye la actividad del agua, aumentando la fuerza impulsora para la transferencia de masa, y la sacarosa forma una capa en la superficie que impide la penetración de sal en el producto y permite mejorar la pérdida de agua.

### c) Temperatura de la solución osmótica

Éste es el parámetro más importante, que afecta la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La ganancia de solutos es menos afectada que la pérdida de agua por la temperatura, ya que a altas temperaturas el soluto no puede difundir tan fácilmente como el agua a través de la membrana celular de los tejidos del producto.

### d) pH de la solución

La acidez de la solución aumenta la pérdida de agua, debido a que se producen cambios en las propiedades tisulares y consecuentemente cambios en la textura de las frutas y vegetales que facilitan la eliminación de agua

#### **e) Propiedades del soluto empleado**

El proceso osmótico también depende de las propiedades físicoquímicas de los solutos empleados: pesos moleculares, estado iónico y solubilidad del soluto en el agua. Cuando se emplean soluciones con solutos de mayor peso molecular, la pérdida de agua aumenta y la ganancia de soluto disminuye, con respecto a los solutos menor peso molecular.

#### **f) Agitación de la solución osmótica**

La deshidratación osmótica puede mejorarse mediante agitación. Sin embargo, existen casos en los que puede dañarse el producto y debe evitarse.

#### **g) Geometría del producto**

La geometría del material es muy importante, ya que variará la superficie por unidad de volumen expuesta a la difusión.

#### **h) Relación masa de solución a masa del producto**

La pérdida de agua y la ganancia de solutos aumenta con un incremento de la relación masa de solución a masa de producto empleada en la experiencia. Uddin e Islam (1985) estudiaron el efecto de esta variable en la deshidratación osmótica de rodajas de ananás a 21°C. Observaron que la pérdida de peso aumentaba hasta alcanzar una relación de 4 y más allá de este valor no se apreciaba una mayor ganancia.

#### **i) Propiedades físico-químicas del alimento**

La composición química (proteínas, carbohidratos, grasas, contenido de sal, etc.), la estructura física (porosidad, arreglo de células, orientación de fibras y tipo de piel) y los pre-tratamientos, como congelación y escaldado, pueden afectar la cinética de deshidratación osmótica. Según Ponting (1973) la congelación de frutas frescas rompe las células y produce una deshidratación osmótica posterior más pobre.

#### **j) Presión de operación**

La transferencia de agua total en la deshidratación osmótica depende de una combinación de dos mecanismos: la difusión y el flujo por capilaridad. Los tratamientos al vacío aumentan el flujo capilar, pero no influyen en la ganancia de solutos. El flujo capilar de agua depende de la porosidad y la fracción de espacios huecos del producto (Rahman y Perera, 1996).

### **Principales ventajas potenciales de la deshidratación osmótica**

#### **a) Mejora de la calidad en términos de color, flavor y textura.**

Produce un daño mínimo en la estructura del alimento deshidratado y no se afecta prácticamente el color, el flavour y la textura del alimento (Torreggiani, 1993).

#### **b) Eficiencia energética**

La deshidratación osmótica es un proceso que requiere menos consumo de energía que los secados por aire y vacío, debido a que se lleva a cabo a bajas temperaturas. La energía consumida en una deshidratación osmótica a 40 °C, considerando la reconcentración de la solución (jarabe) por evaporación, es por lo menos dos veces inferior a la consumida por el secado por convección de aire caliente a 70°C (Lenart y Lewicki, 1988). Cabe destacar que un significativo ahorro energético puede lograrse cuando la deshidratación osmótica se usa como pre-tratamiento antes de la congelación (Huxsoll, 1982). Además el tratamiento osmótico produce un jarabe resultante que puede usarse posteriormente en la elaboración de jugos o en las industrias de bebidas, logrando así un aprovechamiento económico de este subproducto (Rahman y Perera, 1996).

#### **c) Tratamientos químicos**

No se necesitan tratamientos con químicos que mejoren la textura del producto.

Asimismo, los tratamientos químicos que reducen el pardeamiento enzimático pueden ser evitados por el proceso osmótico (Ponting y colaboradores, 1966). El azúcar de la solución inhibe la enzima polifenoloxidasas, que cataliza los procesos oxidativos de pardeo de las frutas cortadas.

#### **d) Estabilidad del producto durante el almacenamiento**

El producto obtenido de la deshidratación osmótica es más estable que el producto no tratado durante su almacenamiento, debido a la baja actividad acuosa consecuencia de los solutos ganados y la pérdida de agua. A bajas actividades de agua, el deterioro por microorganismos es menor. Además, en el caso de productos enlatados frescos en soluciones siruposas, el agua del producto puede fluir desde el producto hacia la solución ocasionando su dilución. Esto puede evitarse utilizando un proceso de osmoenlatado para mejorar la estabilidad del producto y su solución (Sharma y colaboradores, 1991). Asimismo, el uso de la deshidratación osmótica seguida de congelación de trozos de damascos y duraznos para yogures puede mejorar la consistencia y reducir la sinéresis o separación del suero de los mismos (Giangiacomo y colaboradores, 1994).

### **Parte experimental**

#### **Preparación de la muestra**

Se trabajó con papas, que se pelaron y cortaron manualmente en cubos de 0,6, 1 y 1,2 cm de lado. El exceso de humedad exterior se eliminó mediante secado rápido con papel tissue.

## Ensayos de deshidratación osmótica

Se prepararon soluciones con sacarosa y sal como solutos. Se trabajó variando la concentración de sacarosa en 10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 % m/m y la concentración de sal en 5 %, 10 % y 20 % m/m. La relación masa de solución a masa de papa se varió entre 1,6, 4 y 10. Se analizó cómo influía la modificación de la temperatura (30 y 40 °C) y el tamaño de los cubos (0,6; 1 y 1,2 cm de lado) en la deshidratación osmótica.

### Descripción de la experiencia

Al inicio de la experiencia se trabajó con una masa de papa de 270 g y una masa de solución de 1080 g (con una relación masa de solución/masa de papa igual a 4). El sistema se colocó en un vaso de precipitado de 2 l y se agitó a 110 rpm. Se separaron 10 g de papa sin deshidratar para llevar a estufa y determinar humedad inicial. Después cada hora se pesó la masa de papa total para analizar cómo variaba el peso en el tiempo.

Antes de cada pesada se retiraron las papas de la solución, que se enjuagaron con agua destilada y se secaron con papel tissue. Se pesaron y luego se separaron 5 g de papa para determinar humedad y 20 g de solución para mantener la relación masa de solución/ masa de papa y para determinar la concentración de sólidos solubles.

### Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó a través de la pérdida de peso por desecación en estufa. Durante 2 hs se las secó a 70 °C y luego a 104 °C por 72 h. En un principio el secado se realizó a menor temperatura, para evitar la pérdida abrupta de agua y la pérdida de material por proyección.

## Medición de la transferencia de masa

La evolución de la transferencia de masa con el tiempo se midió a través de:

WR: pérdida de peso  
TS: contenido de sólidos totales  
WL: pérdida de agua  
GS: ganancia de sólidos  
SS: sólidos solubles de la solución

$$WR(\%) = \left( \frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

$m_i$  = masa inicial de muestra de papa fresca.  
 $m_f$  = masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo  $t$

$$TS(\%) = \left( \frac{m_s}{m_o} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$H(\%) = 100 - TS(\%) \quad (3)$$

$m_s$  = masa de muestra seca.  
 $m_o$  = masa de muestra fresca.  
 $H(\%)$  = porcentaje de humedad

$$WL(\%) = \left[ \left( 1 - \frac{TS^0}{100} \right) - \left( 1 - \frac{TS}{100} \right) \left( 1 - \frac{WR}{100} \right) \right] \times 100 \quad (4)$$

WR = pérdida de peso.  
TS<sup>0</sup> = contenido de sólidos totales iniciales

$$GS(\%) = \left[ \left( 1 - \frac{WR}{100} \right) \frac{TS}{100} - \frac{TS^0}{100} \right] \times 100 \quad (5)$$

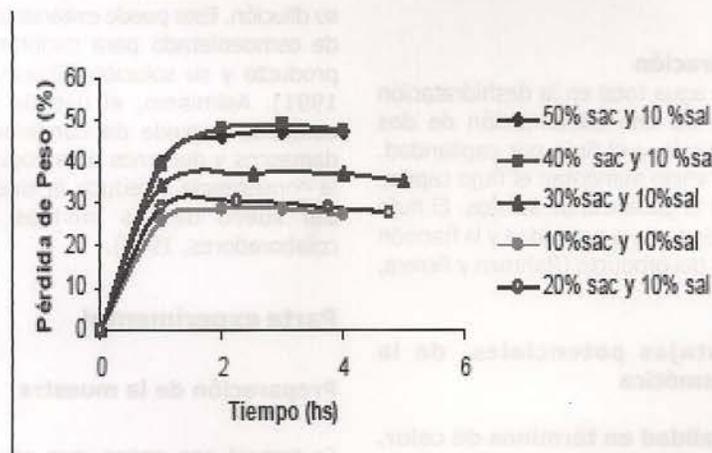


Figura 1. Pérdida de peso vs tiempo para distintas concentraciones de sacarosa (concentración de sal constante, 10 %); R=4 y T=40 °C (cubos de 1 cm de lado)

### Determinación de sólidos soluble en la solución

La misma se llevó a cabo evaporando la solución. La masa inicial empleada fue de 20 g. La fórmula para su cálculo es:

$$SS = \frac{m_{ss}}{m_{is}} \quad (6)$$

donde:  $m_{ss}$  es la masa de sólidos solubles obtenida luego de la evaporación del agua de la solución y  $m_{is}$  es la masa inicial de solución empleada.

### Análisis de resultados

#### Concentración

Se analizó la influencia de la variación en la concentración de sacarosa en la deshidratación osmótica; se mantuvo constante la concentración de sal en un 10 % en todas las experiencias.

La pérdida de peso aumenta para soluciones de mayor concentración en sacarosa (Figura 1). Las soluciones de concentración en sacarosa 50% y 40% presentan un comportamiento similar. A menor concentración de la solución, el flujo de agua desde el alimento hacia la solución es menor y por lo tanto el flujo de soluto que circula en contracorriente desde la solución pueda tener menor impedimento para poder ingresar a la papa y entonces la ganancia de sólidos es superior. Este fenómeno se puede apreciar en la Figura 1; la pérdida de peso no se mantiene constante luego de las 2 h, sino que comienza a disminuir para las soluciones de concentración en sacarosa inferiores. Cuanto menor es la concentración en sacarosa, más pronunciado es el descenso observado en la pérdida de peso.

En la Figura 2 puede apreciarse que la humedad de la papa es siempre mayor cuando se deshidrata en una solución de menor concentración, ya que se deshidrata menos.

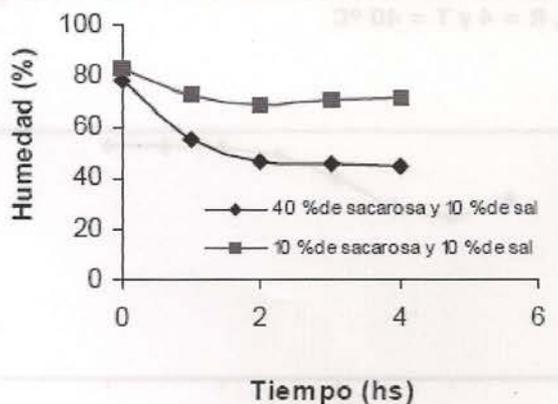


Figura 2. Humedad de la papa versus tiempo para distintas concentraciones de sacarosa en la solución ( $R = 4$ ,  $T = 40^{\circ}\text{C}$ , cubos de 1 cm de lado)

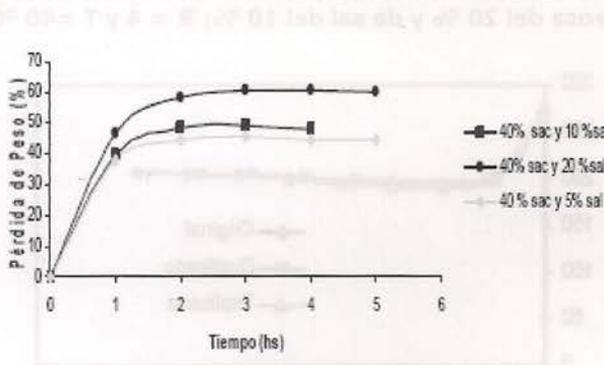
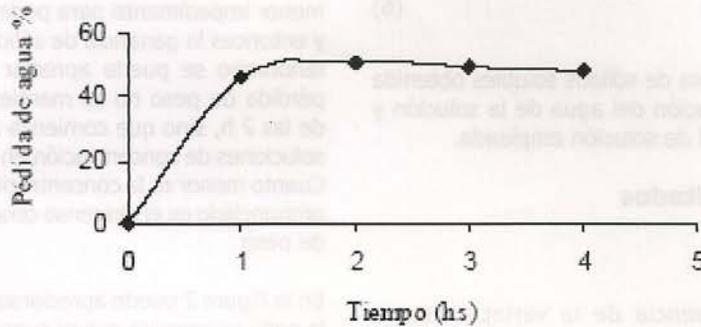


Figura 3. Pérdida de peso versus tiempo durante la deshidratación osmótica a distintas concentraciones de sal (concentración de sacarosa constante, 40 %);  $R = 4$  y  $T = 40^{\circ}\text{C}$  (cubos de 1 cm de lado)

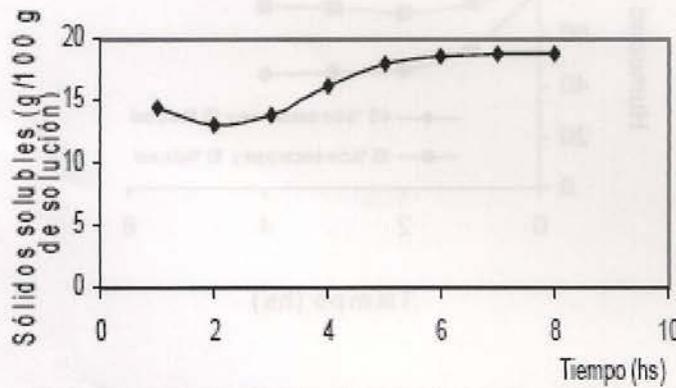
**Tiempo**

En la Figura 1 se muestra que la mayor pérdida de peso se presenta luego de transcurridos entre 1,5 a 2 h, aproximadamente, para las distintas concentraciones de sacarosa en la solución. Para

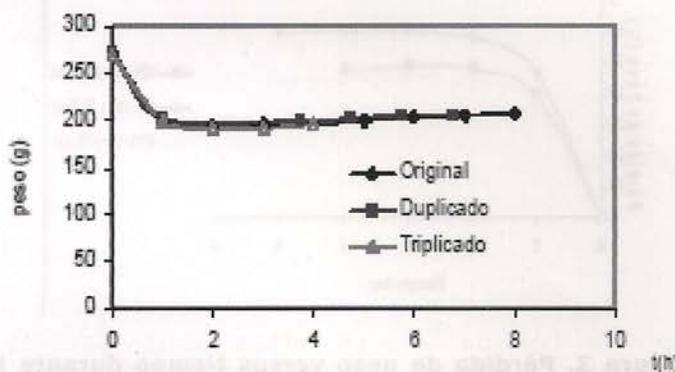
las soluciones de concentración inferiores (30 %, 20 % y 10 %) la pérdida comienza a disminuir luego de las 2h. Este fenómeno, como se mencionó anteriormente, podría atribuirse a una impregnación del material con solutos provenientes de la solución.



**Figura 4. Pérdida de agua versus tiempo durante la deshidratación osmótica de papas en cubos de 1 cm de lado en una solución de concentración en sacarosa del 20 % y de sal del 10 %, R = 4 y T = 40 °C**



**Figura 5. Sólidos solubles (g de sólidos solubles /100g de solución) versus tiempo durante la deshidratación osmótica de papas en cubos de 1 cm de lado, en una solución de concentración en sacarosa del 20 % y de sal del 10 %; R = 4 y T = 40 °C**



**Figura 6. Peso de la muestra vs tiempo para una solución de concentración en sacarosa del 20 % y de sal del 10% ; R=4 y T=40°C (cubos de papa de 1 cm de lado)**

Transcurridas 2 h de deshidratación osmótica se tiene la mayor pérdida de peso, la que se corresponde con una mayor pérdida de agua y por lo tanto una concentración de sólidos solubles en la solución menor. A medida que transcurre el tiempo la pérdida de agua disminuye y por consiguiente la concentración de sólidos solubles en la solución aumenta hasta hacerse constante.

En la Figura 6 se puede apreciar cómo varía el peso de la muestra de papa con el tiempo, cuando está sumergida en una solución al 20 % de sacarosa y al 10 % de sal. Se muestran la corrida original, la duplicada y la triplicada en el mismo gráfico. Se observa una buena reproducibilidad entre las mismas.

### Temperatura

La pérdida de peso resulta ser superior a medida que aumenta la temperatura, como puede apreciarse en la Figura 7.

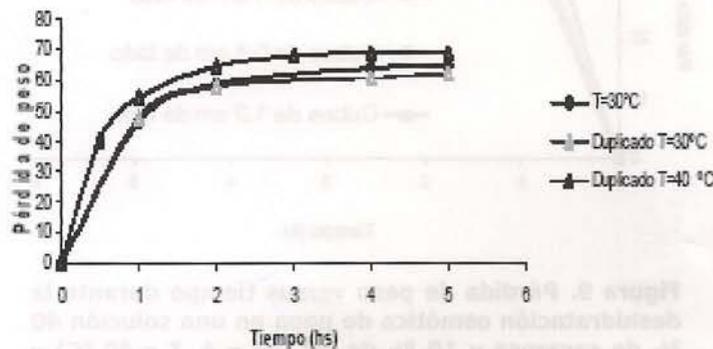


Figura 7. Pérdida de peso versus tiempo durante la deshidratación de papa (cubos de 1cm de lado) en una solución 40 % de sacarosa y 10 % de sal, R=4 a distintas temperaturas

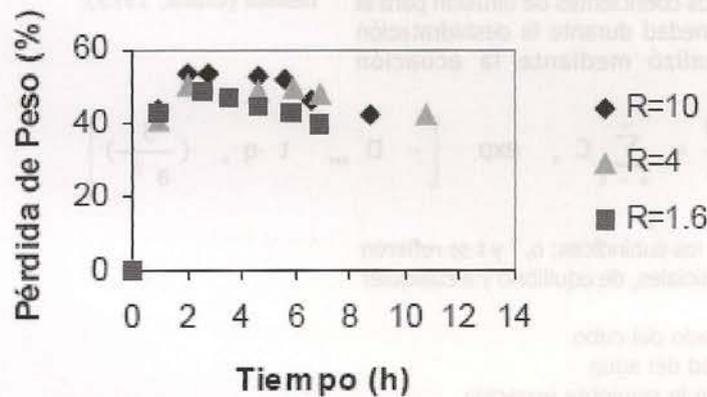


Figura 8. Pérdida de peso versus tiempo durante la deshidratación osmótica de papa (cubos de 1cm de lado) en una solución 40 % de sacarosa y 10 % de sal (T= 40 °C) a distintas relaciones masa de solución /masa de papa (R)

### Relación masa de solución a masa de papa (R)

Se trabajó con distintas relaciones masa de solución a masa de papa (R: 1,6; 4 y 10). En la Figura 8 se aprecia como que mayor es esta relación superior mayor es la pérdida de peso.

Al utilizar una R = 10 se obtiene aproximadamente 9% más de pérdida de peso que con R = 4. Sin embargo, se tiene una cantidad de efluente superior, a la cual resulta difícil encontrar un destino determinado. Si se tratase de una solución con sacarosa solamente podría evaporarse parcialmente el agua de la solución y utilizarse esta solución concentrada en la elaboración de mermeladas o jugos de fruta, pero siendo una solución que también contiene sal su reutilización es más difícil de implementar.

## Tamaño de los cubos

Se aprecian en la Figura 9 dos zonas, una de ellas antes de las 1,8 h, en la que se observa que cuanto menor es el tamaño del cubo mayor es la pérdida de agua y también es superior su velocidad de pérdida; la otra zona, después de las 1,8 h, en la que se observa una mayor impregnación del sólido con solutos de la solución a medida que el tamaño del cubo es menor (que se aprecia a partir de una menor pérdida de peso).

Luego de analizar cómo influyen en la deshidratación

osmótica la variación de la concentración de la solución en sacarosa (10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 %), la concentración de sal (5 %, 10 % y 20 %), la temperatura (30-40 °C), la relación masa de solución a masa de papa (R: 1.6, 4, 10) y el tamaño de cubos (l: 0.6, 1, 1.2 cm) se seleccionó:

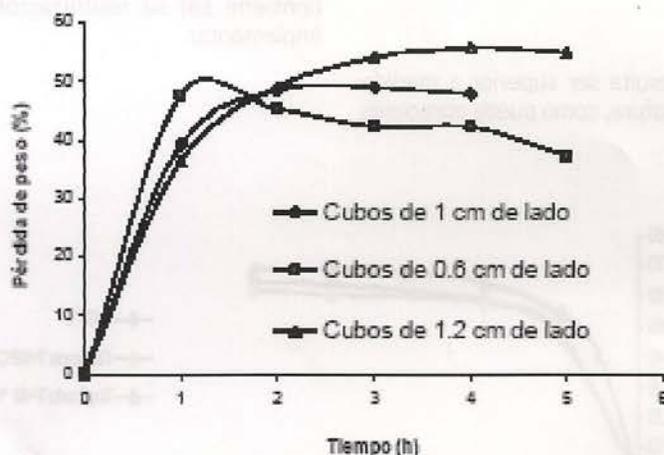
Concentración de sacarosa: 40 %

Concentración de sal: 10%

Temperatura: 40 °C

Relación: 4

Tamaño de cubos (l: 1 cm).



**Figura 9. Pérdida de peso versus tiempo durante la deshidratación osmótica de papa en una solución 40 % de sacarosa y 10 % de sal (R = 4, T = 40 °C) y distintos tamaños de cubos**

## Determinación de los coeficientes de difusión

La estimación de los coeficientes de difusión para el transporte de humedad durante la deshidratación osmótica se realizó mediante la ecuación

$$\frac{(H_t - H_\infty)}{(H_0 - H_\infty)} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \exp \left[ - D_{ew} t q_n \left( \frac{3}{a^2} \right) \right] \quad (7)$$

H es la humedad y los subíndices: o, " y t se refieren a las condiciones iniciales, de equilibrio y a cualquier tiempo t

a es la mitad del lado del cubo

$D_{ew}$  es la difusividad del agua

$C_n$  se calcula según la siguiente ecuación

$$C_n = \frac{2 \alpha (1 + \alpha)}{(1 + \alpha + \alpha^2 q_n^2)} \quad (8)$$

$q_n$  son las raíces positivas no nulas de la ecuación

correspondiente a la segunda ley de Fick. En el caso de geometría cúbica, la solución de esta ecuación resulta (Crank, 1975):

$$\tan q_n = -\alpha q_n \quad (9)$$

$\alpha$  es la relación entre el volumen de solución y el volumen del cubo.

Cuando el número de Fourier (Fo) es mayor a 0,1 sólo el primer término de la ecuación es significativo y la ecuación se reduce a:

$$\ln \left[ \frac{H_t - H_\infty}{H_0 - H_\infty} \right] = \ln C_1 - D_{ew} \frac{q_1}{A^2} t \quad (10)$$

Si se grafica el primer miembro de la ecuación anterior versus tiempo, se obtiene una recta de:

$$\text{pendiente: } \frac{-q_1 D_{ew}}{A^2} = -1,4409 \quad (11)$$

$$\text{ordenada al origen: } \ln C_1 = 0,3498 \quad (12)$$

A partir de la ecuación (12) se obtiene el valor de  $C_1$ : 1,4188 y para un valor calculado de  $\alpha=720$  despejando de la ecuación (8)  $q_1 = 1,186$ .

Con este valor y el de  $A^2 = 3/a^2$  donde  $a = l/2$  Se reemplaza en la ecuación de la pendiente y se obtiene el valor de  $D_{ew}$ :

$$D_{ew} = \frac{\text{pendiente} * A^2}{q_1}$$

$$D_{ew} = 0,1012 \text{ cm}^2/\text{h} = 1,687 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{min} = 2,81 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

Este valor es del orden del obtenido por Rastogi y Nirajan (1998) en ananás ( $D_{ew} = 0,538 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $D = 0,713 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ) que también trabajaron con cubos, si bien los materiales son bastantes diferentes en cuanto a estructura.

## Conclusiones

Se encontraron las condiciones de deshidratación osmótica óptima de las papas: concentración de sacarosa: 40 %, de sal: 10 %, temperatura: 40 °C, relación masa de solución a masa de papa: 4 y tamaño de cubos de 1 cm de lado. Cabe destacar que el óptimo final alcanzado se determinó analizando los óptimos relativos (máxima pérdida de peso) para cada variable de manera individual. Esto implica que el valor obtenido no sea necesariamente el óptimo absoluto.

Se aplicó el modelo de la segunda Ley de Fick para representar el proceso difusivo del agua en el alimento. Empleando las condiciones de operación óptimas, el coeficiente de difusión de agua obtenido en la deshidratación osmótica de papas es de  $2,81 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , del orden de los encontrados en la literatura.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería Química y a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento de este trabajo.

## Referencias

- CRANK, J. (1975). The mathematics of diffusion. Clarendon Press, Oxford.
- GIANGIACOMO, R.; TORREGGIANI, D.; ERBA, M. L.; MESSINA, G. (1994). Ital. J. Food. Sci. 6, 345-350.
- HUXSOLL, C. (1982). Food Technology 35 (11), 98-102.
- LENART, A.; LEWICKI, P. (1988) Acta Alimentaria Polonica 14, 65.
- MASCHERONI, R. H. (2002). Estudios y desarrollos en deshidratación por métodos combinados. IX Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenos Aires, 7-9 Agosto de 2002. Simposio "Avances Tecnológicos en los medios tradicionales de conservación".
- PONTING, J. D.; WATTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. (1966) Food Technology 20, 125.
- PONTING, J. D. (1973). Process Biochem. 8: 18-20.
- RAHMAN, S.; PERERA C. (1996). Food Technologist 25, 144-147.
- RASTOGI, N.K.; NIRANJAN, K. (1998). J. Food Science, 63, 508-511.
- SHARMA, R. C.; JOSHI, V. K.; CHAUHAN, S. K.; CHOPRA, S. K.; LAL, B. B (1991). J. Food Sci. Technol. 28, 86-88.
- TORREGGIANI, D. (1993). Food Research International 26, 59-68.
- UDDIN, M. B.; ISLAM, N. (1985) J. Inst. Engrs. Bangladesh 13, 5.