

# PROCESOS DE DESHIDRATACIÓN CON TECNOLOGÍAS EMERGENTES: TRATAMIENTO COMBINADO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO CON MICROONDAS DE FRUTILLAS

Gamboa-Santos, J<sup>1</sup> & Campañone, L<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>CIDCA (CONICET-CCT y Universidad Nacional de La Plata), 47 y 116, La Plata (1900), Argentina.

E-mail: [jou\\_joule@hotmail.com](mailto:jou_joule@hotmail.com).

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, 1 y 47, La Plata (1900), Argentina.

## RESUMEN

El secado con aire caliente y/o vacío, son los elegidos por la industria de alimentos deshidratados debido a su reducido costo y facilidad operativa. Sin embargo, en las últimas etapas del proceso de secado tradicional se observa una lenta difusión de agua que repercute en la calidad del producto final debido al empleo de elevadas temperaturas. Por ello, se han implementado dos estrategias para reducir los tiempos de secado y preservar la calidad nutricional y sensorial del producto fresco: la aplicación de pre-tratamientos al proceso de deshidratación y el uso de tecnologías emergentes durante el proceso. Entre los pre-tratamientos, la deshidratación osmótica (DO) permite obtener productos de humedad intermedia que, tras un secado posterior, presentan una estabilidad mejorada. A su vez, las tecnologías emergentes han reducido las limitaciones de las técnicas convencionales. La aplicación de microondas (MW) al secado fue recientemente descrita como una tecnología emergente prometedora para acelerar el tiempo de proceso preservando las propiedades organolépticas y nutritivas del producto fresco. Más aún, el tratamiento combinado de MW y otros métodos de secado, como la DO, dan lugar a mejores características en los productos deshidratados comparado con las obtenidas mediante los tratamientos por separado.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue el estudio de la influencia de un pre-tratamiento de DO (sacarosa, 60 °Brix, 40 °C, 4 h) en la cinética de secado de rodajas de frutilla (1 cm) durante un secado con microondas (100 min, 1,2 W/g). Un parámetro relevante en el proceso de deshidratación es el coeficiente de difusión ( $D_e$ ). En este trabajo, se estimaron los valores de  $D_e$  a partir de los datos experimentales de la cinética de pérdida de humedad, utilizando la solución analítica de la ecuación de Fick's (n: 100). Además, se consideró la reducción del espesor ( $L$ , m) en el modelo de transporte de materia para obtener una determinación más acertada de los valores de difusividad efectiva.

Los valores de  $D_e$  obtenidos, tanto para muestras frescas ( $FR$ ,  $2,28 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $1,10 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ) como pre-tratadas ( $2,59 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $1,32 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ), se encontraron en el rango de los previamente descritos en bibliografía para productos similares. Cuando se consideró la variación de  $L$  en el cálculo de  $D_e$  se produjo una mejora en el ajuste del modelo. Finalmente, el pre-tratamiento dio lugar a un significativo incremento en los valores de  $D_e$  durante el secado con MW comparado con los obtenidos para las muestras  $FR$ .

Palabras clave: frutilla, deshidratación osmótica, modelado, secado con microondas.

## 1. Introducción

Durante muchos años, el secado con aire caliente y/o vacío han sido los procesos de elección a nivel industrial para producir alimentos deshidratados. El secado permite incrementar la vida útil de los productos frescos y reducir los costos de transporte y almacenamiento (García-Noguera y col., 2010; Soria y col., 2010). No obstante, el secado es considerado uno de los tratamientos industriales con mayor demanda energética en países desarrollados (Chen y Mujumdar, 2008) y aún los productos finales, en general, no responden a los parámetros de calidad deseados por los consumidores. Esto se debe a la pérdida de calidad nutritiva y organoléptica que se produce durante el proceso de deshidratación al aplicarse elevadas temperaturas durante tiempos largos de tratamiento (Mousa y Farid, 2002; Chandrasekaran y col., 2013; Gamboa-Santos y col., 2014a). Con el fin de mejorar la eficiencia de los procesos de deshidratación, numerosos estudios han centrado su atención en el fenómeno de transferencia de materia que se produce en el sistema (Giner, 2009; Ozuna y col., 2011; Barati y Esfahani, 2013). Entre las estrategias que se implementaron para preservar la calidad de los productos frescos se encontraron la aplicación de pre-tratamientos que reducen los tiempos del secado subsiguiente y la optimización de las condiciones operativas del proceso en su conjunto (Lemmens y col., 2009; Mitra y Meda, 2009; Aghbashlo y col., 2011; Gamboa-Santos y col., 2012). La deshidratación osmótica (DO), producida por imregnación de un

producto en una solución hipertónica (azúcares, sales y/o polioles), es uno de los pre-tratamientos más utilizados. Durante la DO se produce la salida de agua y de sustancias propias del alimento hacia la solución, al mismo tiempo que los solutos de la misma son incorporados al alimento (Rastogi, 2002). La DO permite obtener productos de humedad intermedia que, tras un secado posterior, presentan una estabilidad mejorada respecto de aquellos productos que no han sido sometidos a este pre-tratamiento. Además, posee la ventaja de posibilitar la remoción de agua sin cambio de fase lo cual se traduce en una reducción en el consumo de energía. Los productos intermedios que se obtienen mediante la DO se utilizan para la fabricación de mermeladas, jaleas, pastas de frutas, dulces y conservas. Por su parte, el secado con aire caliente, que en general precisa condiciones operativas enérgicas, puede reemplazarse por la utilización de procesos que demanden otras fuentes de energía, como las microondas (Mousa y Farid, 2002; Chandrasekaran y col., 2013). La aplicación de microondas (MW) al secado fue recientemente descrita como una tecnología emergente prometedora para acelerar el tiempo de proceso preservando las propiedades organolépticas y nutritivas del producto fresco (De Bruijin y Bórquez, 2014). Más aún, el tratamiento combinado de MW y otros métodos de secado, como la DO, da lugar a productos que pueden destinarse al consumo directo como aperitivos o ser incorporados en productos de panadería o cereales de desayuno con características organolépticas distintivas, comparado con las obtenidas mediante los tratamientos por separado (Chandrasekaran y col., 2013). No obstante, la DO y el secado asistido con MW presentan limitaciones que deben considerarse para obtener los productos deseados. La DO puede afectar negativamente a los atributos sensoriales y nutricionales de los productos debido a un excesivo ingreso de solutos desde el medio osmótico y/o a cambios en sus constituyentes favorecidos por las elevadas temperaturas y tiempos de tratamiento, así como por la pérdida de compuestos hidrosolubles hacia la solución osmótica (Dhingra y col., 2008). En el caso de las MW, existe un riesgo de sobrecalentamiento que puede tener un impacto negativo durante el secado de productos sensibles al calor (Ozkoc y col., 2014). Por ello, las condiciones operativas tanto del pre-tratamiento como del secado con MW deben optimizarse para reducir las pérdidas de calidad nutritiva y organoléptica del producto fresco.

Los objetivos de este trabajo fueron el estudio de la influencia de un pre-tratamiento de DO (sacarosa, 60 °Brix, 40 °C, 4 h) en la cinética de secado de rodajas de frutilla (1 cm) durante un secado con microondas (100 min, 1,2 W/g) y la determinación del coeficiente de difusión ( $D_e$ ) durante la etapa final de secado asistido con microondas, utilizando la solución analítica de la ecuación de Fick's (n: 100). Además, se consideró la reducción del espesor ( $L$ , m) en el modelo de transporte de materia para obtener una determinación más acertada de los valores de difusividad efectiva.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1 Preparación de muestras**

Se utilizaron frutillas (*Fragaria ananassa*) de la variedad Monterrey adquiridas en el mercado de la ciudad de La Plata (Argentina). Previo a su acondicionamiento las muestras permanecieron refrigeradas (4 °C) por un período inferior a 2 días. Una vez extraído el tallo y lavadas en agua a temperatura ambiente, las frutillas se cortaron en rodajas longitudinales de  $1,0 \pm 0,1$  cm de espesor.

### **2.2 Determinación de humedad y sólidos solubles**

La determinación de humedad de las muestras frescas, deshidratadas osmóticamente y secadas con MW se realizó mediante el método AOAC 934.06 (AOAC, 1997). El contenido en sólidos solubles (°Brix, °Bx) de las muestras frescas y deshidratadas osmóticamente se determinó con un refractómetro digital (Hanna Instruments Modelo HI96801, USA).

### **2.3 Deshidratación osmótica de las muestras**

Las frutillas en láminas ( $85,8 \pm 3,2$  g) se deshidrataron osmóticamente en una solución de sacarosa (60 °Bx, 40 °C) durante 4 h y en agitación a 100 rpm en shaker (TT400, Ferca, Argentina). En todos los casos los tratamientos se realizaron por triplicado manteniendo una relación muestra: solución, 1:10. Completado el pre-tratamiento las muestras se escurrieron en mallas plásticas y se lavaron con agua destilada para remover restos superficiales de la solución osmótica. A continuación, las muestras se secaron con papel absorbente y se pesaron. Los parámetros de la DO: pérdida de peso (WR) y agua (WL) y ganancia de sólidos (SG) se calcularon con las ecuaciones 1, 2 y 3.

$$WR_t = \frac{(m_0 - m_t)}{m_0} * 100 \quad (1)$$

$$WL_t = WC_0 - WC_t * \left(1 - \frac{WR_t}{100}\right) \quad (2)$$

$$SG_t = TS_0 * \left(1 - \frac{WR_t}{100}\right) - TS_0 \quad (3)$$

donde  $m$  representa la masa de la muestra (g),  $WC$  es el contenido de humedad (% base húmeda) y  $TS$  es el contenido de sólidos totales (% base húmeda). Los subíndices 0 y t indican el tiempo inicial y final de pre-tratamiento, respectivamente.

## 2.4 Secado asistido por microondas

El secado de las muestras frescas y pre-tratadas osmóticamente se realizó en un microondas ATMA Modelo MR926E (700W, Electronic System, Argentina). La carga inicial de materia prima fue de  $99,8 \pm 5,9$  g. Las condiciones operativas utilizadas correspondieron a la potencia mínima del sistema (1,20 W/g) durante 100 min de secado con intervalos de pesada de muestras de 10 min.

## 2.5 Determinación del encogimiento

La determinación del encogimiento del material durante el proceso de secado con MW se realizó a partir de la ecuación 4 que relaciona la longitud característica  $L$  (semi-espesor de la muestra) con la humedad  $W$  en función del tiempo de secado. Para obtener esta relación se secaron cubos de frutilla fresca ( $1 \text{ cm}^3$ ) en el equipo de MW en condiciones idénticas a las descritas en el punto 2.4 (1,2 W/g; 100 min). El espesor de la muestra  $2L$  se determinó, por duplicado, con un calibre a intervalos de 10 min. Para extrapolar los resultados obtenidos en muestras de diferente geometría (cubo y lámina) se consideró que el encogimiento era isotrópico (Gamboa-Santos y col., 2014b).

$$L = \sqrt[3]{\left(0,555 \times \frac{W}{W_0} + 0,171\right) * L_0^3} \quad (4)$$

donde  $L$  representa el semi-espesor de la muestra (m) y el subíndice 0 hace referencia al tiempo inicial de secado con MW.

## 2.6 Modelado de la cinética de secado

El modelado de la cinética de secado permitió estimar el coeficiente de difusión  $D_e$  para cada tratamiento y condición utilizada. Se consideraron las siguientes hipótesis: i) el sólido presenta una distribución de materia simétrica, ii) la temperatura y el contenido de humedad iniciales son uniformes en las muestras, iii) la difusividad efectiva de humedad es constante durante todo el proceso, iv) la geometría corresponde a placa infinita. Con respecto al volumen de la muestra durante el secado, se consideraron dos escenarios: uno asume que el volumen es constante y el otro que el mismo es variable, dado que la longitud característica del modelo  $L$  varía con la humedad de la muestra según la relación mostrada en la ecuación 4. La ecuación de Fick (Ec. 5) que describe el fenómeno de transferencia de masa a nivel microscópico fue utilizada como punto de partida para el cálculo de la difusividad efectiva de materia  $D_e$  durante el secado con microondas.

$$\frac{\partial W_p(x,t)}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 W_p(x,t)}{\partial x^2} \quad (5)$$

donde  $W_p$  es el contenido de humedad (kg H<sub>2</sub>O/kg SS),  $t$  es el tiempo (s) y  $x$  la dirección de transferencia de materia (m) para geometría de placa infinita.  $D_e$  (m<sup>2</sup>/s) es el parámetro cinético del modelo y representa la facilidad del agua de abandonar la matriz del sólido durante el secado con microondas (Gamboa-Santos y col., 2014b). Las condiciones iniciales y de contorno aplicadas para evaluar el modelo fueron: distribución homogénea de humedad dentro del sólido (Ec. 6), simetría del sólido (Ec. 7) y resistencia externa despreciable a la transferencia de humedad (Ec. 8) (Simal y col., 2003).

$$W_p(x,0) = W_0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial W_p(0,t)}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

$$W_p(L,t) = W_e \quad (8)$$

donde  $W_e$  el contenido de humedad de equilibrio. Para estimar la relación entre la actividad de agua ( $a_w$ ) y  $W_e$  se utilizaron las isothermas de sorción experimentales previamente obtenidas para frutillas sometidas a un secado convectivo a 50 °C (Gamboa-Santos y col., 2014b). La Ec. 9 muestra la solución analítica de la Ec. (5) en términos del contenido de humedad media ( $W$ , kg W/ kg DM).

$$W(t) = W_e + (W_o - W_e) \times \left[ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left(-\frac{D_e(2n+1)^2 \pi^2 t}{4L^2}\right) \right] \quad (9)$$

donde  $W_o$  representa el contenido de humedad inicial (en base seca).

El modelo se ajustó a la cinética de secado experimental mediante un proceso de optimización utilizando el paquete SOLVER disponible en Microsoft Excel (Microsoft Corporation, USA). La determinación de los  $D_e$  se realizó minimizando la suma de las diferencias cuadráticas entre el contenido de humedad media experimental y el calculado empleando los primeros 100 términos de la solución analítica (Ec. 9,  $n$ : 100).

## 2.7 Análisis estadístico

La bondad del ajuste obtenido para el modelo de la cinética de secado con MW, se determinó mediante el cálculo del error medio relativo (EMR, Ec. 10) para cada una de las experiencias de secado.

$$EMR = \frac{100}{N} \left[ \sum_{i=1}^N \frac{|W_{ei} - W_{ci}|}{W_{ei}} \right] \quad (10)$$

donde  $W_{ei}$  y  $W_{ci}$  representan los contenidos de humedad media experimental y calculados,  $N$  es el número de datos experimentales.

La significación estadística de la aplicación de MW durante el secado de frutillas frescas y deshidratadas osmóticamente, se evaluó mediante un análisis de varianza (ANOVA) para los valores  $D_e$  utilizando el programa Statgraphics 5.1 (StaPoint, Inc., Warrenton, VT). Las medias se compararon considerando los intervalos LSD de Fisher y un valor de  $p$  menor a 0,05.

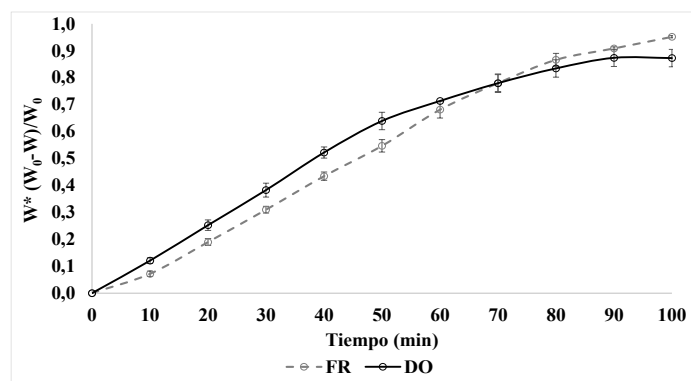
### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica de las frutillas frescas dio lugar a un valor de pérdida de peso de  $53,0 \pm 3,9\%$ , una pérdida de humedad (WL) de  $65,6 \pm 0,6\%$  y una ganancia de sólidos (SG) de  $14,6 \pm 0,4\%$ . Por otro lado se calculó la relación WL/SG, obteniéndose un valor de  $4,6 \pm 0,7$ ; se observó un aumento en la concentración de sólidos solubles de las frutillas durante la DO de 435% ( $^{\circ}\text{Brix}$  de frutilla fresca:  $8,6 \pm 0,8$ ;  $^{\circ}\text{Brix}$  de frutilla deshidratada osmóticamente:  $46,0 \pm 4,4$ ). Estos resultados fueron discutidos en un trabajo previo presentado por las autoras (Gamboa-Santos y Campañone, 2016).

#### 3.2 Cinéticas de secado con microondas

En la Figura 1 se observan las cinéticas de secado con MW de frutillas FR (frescas) y DO (sometidas a pre-tratamiento de deshidratación osmótica). La humedad adimensional  $W^*$  está expresada en términos relativos respecto de la humedad de las frutillas al inicio del secado con MW ( $9,96 \text{ kg H}_2\text{O/ kg SS}$  para FR y  $1,28 \text{ kg H}_2\text{O/ kg SS}$  para DO, Fig. 1). Al final de los procesos de secado con MW (100 min) todas las muestras presentaron valores de humedad en el rango  $0,21\text{-}0,58 \text{ kg H}_2\text{O/ kg SS}$ . Estos se corresponden con valores de humedad (base húmeda) de  $17,4\text{-}36,7\%$ , siendo las muestras DO las que presentaron los valores inferiores.

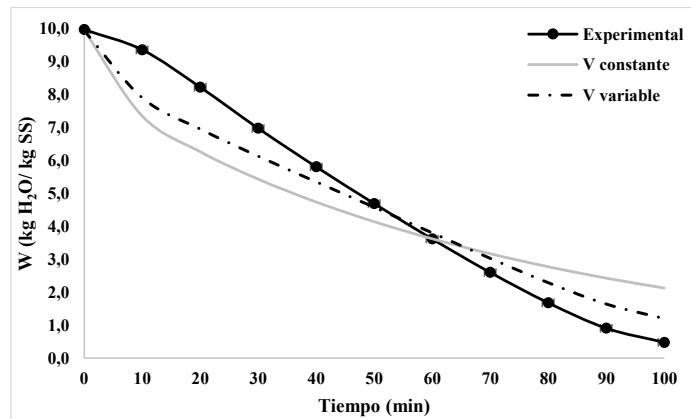


**Figura 1** Resultados experimentales de contenido de humedad durante el secado con microondas (MW) de frutillas frescas (FR) y pre-tratadas (DO). La humedad está expresada como humedad adimensional ( $W^*$ ).  $W$  representa el contenido de humedad durante el secado con MW y  $W_0$  el contenido de humedad justo antes del secado con MW.

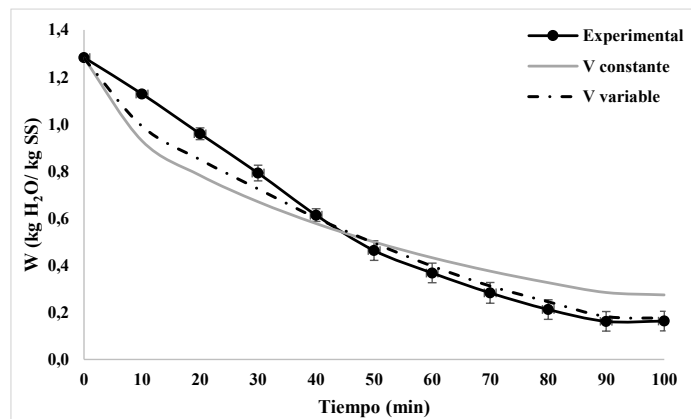
En aquellas muestras sometidas al tratamiento combinado DO y MW, se observa una gran pérdida de agua del producto fresco durante el pre-tratamiento (66%), a la vez que se observa cómo afecta el pre-tratamiento a la cinética de secado con MW. Hasta los 70 min de secado con MW, las muestras DO (pre-tratadas) presentaron mayor velocidad de secado que las muestras FR (sin pre-tratar) (Fig. 1). Estos resultados se corresponden con los datos de la literatura que afirman que la DO acelera la velocidad del secado posterior (Rodrigues y Fernandes, 2007; Fernandes y Rodrigues, 2008; Ozkoc y col., 2014). Además, el ingreso de sólidos desde el medio osmótico repercute positivamente en la eficiencia del secado con MW debido a un incremento del factor de pérdida dieléctrica (Contreras y col., 2017). Hacia el final del secado con MW se observa una inversión de esa tendencia. Debido al pre-tratamiento, las muestras se impregnan en una solución concentrada de sacarosa  $60^{\circ}\text{Bx}$  (ganancia de sólidos:  $14,6\%$ ), lo cual produce un aumento de la proporción de sacarosa sobre otros sólidos presentes en las frutillas, como celulosa o proteínas cuyas capacidades de retención de agua son menores (Blanda y col., 2009). A tiempos largos de secado, los sólidos se concentran (obsérvese  $W^* > 0,8$  en Fig. 1) y la sacarosa, con una gran capacidad de retención de agua, sería responsable de la reducción en la velocidad de secado durante los últimos 30 min de proceso.

### 3.3 Modelado de las cinéticas de secado

La Figura 2 muestra las curvas de secado con MW experimentales y calculadas para las muestras de frutillas frescas (FR, Fig. 2a) y pre-tratadas (DO, Fig. 2b), considerando un volumen constante ( $V$  constante, sin encogimiento) y variable ( $V$  variable, con encogimiento). Independientemente del pre-tratamiento, las curvas de secado sugieren un mejor ajuste del modelo cuando se considera  $V$  variable. Además, las curvas de regresión para los datos experimentales versus los valores calculados, arrojaron valores de  $R^2$  de 0,97 y 0,98, para FR y DO (datos no mostrados), mientras que se obtuvieron  $R^2$  de 0,91 y 0,95 para las regresiones donde el volumen se consideró constante.



(a)



(b)

**Figura 2** Contenido de humedad media experimental y calculada en muestras de frutillas sometidas a secado con MW, considerando volumen constante ( $V$  constante) y variable ( $V$  variable). (a) Muestras sin pre-tratar, FR. (b) Muestras pre-tratadas, DO.

Finalmente la Tabla 1 presenta los valores de  $D_e$  identificados en el presente trabajo para las frutillas FR y DO utilizando la solución analítica (Ec. 9, n: 100). Los valores de  $D_e$  obtenidos se encontraron en el rango ( $10^{-9}$ - $10^{-11}$ ), coincidiendo con datos presentes en bibliografía para frutillas deshidratadas mediante diferentes métodos (Doymaz, 2008; Gamboa-Santos y col., 2014b).

**Tabla 1** Coeficientes de difusión estimados y parámetros estadísticos (media  $\pm$  DE).

<i>Ensayo</i>	<i>V constante</i> <sup>1</sup>		<i>V variable</i>	
	<i>D<sub>e</sub> (*10<sup>-9</sup>m<sup>2</sup>/s)</i>	<i>EMR (%)</i>	<i>D<sub>e</sub> (*10<sup>-9</sup>m<sup>2</sup>/s)</i>	<i>EMR (%)</i>
FR	2,28 $\pm$ 0,08 <sup>a2</sup>	16,95	1,10 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	12,16
DO	2,59 $\pm$ 0,23 <sup>a</sup>	14,71	1,32 $\pm$ 0,14 <sup>b</sup>	6,04

<sup>1</sup>Los resultados presentados en esta tabla para *V constante* fueron extraídos de un trabajo previo de las autoras (Gamboa-Santos y Campañone, 2016).<sup>2</sup>Distintas letras para la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias (Fisher LSD; 0,05).

Como se observa en la Tabla 1, la aplicación de DO dio lugar a un incremento estadísticamente significativo de  $D_e$  durante el secado con MW, comparado con las muestras FR, para la hipótesis de *V variable* (DO:  $1,32 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, FR:  $1,10 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s). Cuando se asumió *V constante* también se observó un incremento en los valores de  $D_e$  aunque no fue significativo (DO:  $2,59 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, FR:  $2,28 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s). Estos resultados confirmarían el incremento de la velocidad de secado con MW en las muestras de frutillas sometidas a pre-tratamiento DO que fue observado en las curvas de secado de la Fig. 1. Con respecto a los resultados estadísticos, el error medio relativo (EMR) se encontró por encima de 15% cuando fue considerado el *V constante*, mientras que se obtuvieron valores de EMR del orden de 6% para muestras DO y de 12% para muestras FR, al considerar *V variable* (encogimiento). Estos resultados sugieren que el encogimiento tiene una influencia significativa sobre la cinética de pérdida de humedad de las frutillas analizadas en el presente trabajo. Estudios previos mostraron relaciones matemáticas similares para describir las variaciones de volumen de las muestras y obtener estimaciones más reales del coeficiente  $D_e$  (García-Pérez y col., 2011; Ramallo y Mascheroni, 2013). Otros fenómenos físicos, como resistencia externa al flujo de materia y mecanismos relacionados con el secado con MW, no considerados aquí, podrían tener una influencia significativa en el proceso de deshidratación.

#### 4. Conclusiones

En el presente trabajo se obtuvieron frutillas deshidratadas mediante un tratamiento combinado de DO y MW con valores de humedad en el rango 0,21-0,58 kg H<sub>2</sub>O/ kg SS (17,4-36,7%, base húmeda) tras 100 min de procesamiento. El análisis de las cinéticas de secado con MW mostró un incremento en la velocidad de secado para las muestras DO respecto de las frutillas FR, durante los primeros 70 min de secado. El incremento en la  $D_e$  obtenido del modelado matemático de la cinética de secado, confirmó el efecto del pre-tratamiento (sacarosa, 60 °Bx, 40 °C, 4 h) sobre la cinética de secado con MW (100 min, 1,2 W/g) de las rodajas de frutillas estudiadas. Dicho efecto fue significativo cuando se consideró la variación del volumen en las muestras sometidas a procesamiento.

#### 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el CONICET (PIP 0231) y la Universidad Nacional de la Plata (UNLP).

#### 6. Referencias

- Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., Nazghelichi, T., Rafiee, S. 2011. Optimization of an artificial neural network topology for predicting drying kinetics of carrot cubes using combined response surface and genetic algorithm. *Drying Technology*, 29: 770-779.
- AOAC (1997). Method 934.06, in *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15va ed.), Vol. 1, ed. por Helrich K. Association of Official Analytical Chemists, Arlington.
- Barati, E., Esfahani, J.A. 2013. A novel approach to evaluate the temperatura during drying of food products with negligible external resistance to mass transfer. *Journal of Food Engineering*, 114: 39-46.
- Blanda, G., Cerretani, L., Cardinalli, A., Barbieri, S., Bendini, A., Lercker, G. 2009. Osmotic dehydrofreezing of strawberries: Poliphenolics content, volatile profile and consumer acceptance. *LWT*, 42: 30-36.
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., Basak, T. 2013. Microwave Food Processing - a review. *Food Research International*, 52: 243-261.

- Chen, X.D., Mujumdar, A.S. 2008. *Drying Technologies in Food Processing*. Wiley-Blackwell. Singapore, India.
- Contreras, C., Benlloch-Tinoco, M., Rodrigo, D., y Martínez-Navarrete, N. 2017. Impact of microwave processing on nutritional, sensory, and other quality attributes. In: *The microwave processing of foods*. 2<sup>nd</sup> Edition. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Duxford, U.K.
- De Bruijn, J., y Bórquez, R. 2014. Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International*, 63: 42-48.
- Dhingra, D., Singh, J., Patil, R.T., Uppal, D.S. 2008. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 45(3): 209-217.
- Doymaz, I. 2008. Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing*, 47: 914-919.
- Fernandes, F.A.N., Rodrigues, S. Dehydration of sapota (*Achras sapota* L.) using ultrasound as pretreatment. 2008. *Drying Technology*, 26: 1232-1237.
- Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Soria, A.C., Villamiel, M. 2012. Effects of conventional and ultrasound blanching on enzyme inactivation and carbohydrate content of carrots. *European Food Research and Technology*, 234: 1071-1079.
- Gamboa-Santos, J., Megías-Pérez, R., Soria, A.C., Olano, A., Montilla, A., Villamiel, M. 2014a. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. *Food Chemistry*, 153: 164-170.
- Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Cárcel, J.A., Villamiel, M., y García-Pérez, J.V. 2014b. Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 128: 132-139.
- Gamboa-Santos, J., y Campañone, L. 2016. Aplicación de recubrimientos comestibles a frutillas sometidas a tratamientos de deshidratación osmótica y microondas. *Actas del VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICYTAC)*. Córdoba, 2-4 nov. 2016.
- García-Noguera J, Oliveira FIP, Gallão MI, Weller CL, Rodrigues S, Fernandes FAN. 2010. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: Effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. *Drying Technology*, 28 (2): 294-303.
- García-Pérez, J.V., Ozuna, C., Ortuño, C., Cárcel, J.A., y Mulet, A. 2011. Modelling ultrasonically assisted convective drying of eggplant. *Drying Technology*, 29: (13) 1499-1509.
- Giner, S.A. 2009. Influence of internal and external resistances to mass transfer on the constant drying rate period in high-moisture foods. *Byosystems Engineering*, 102: 90-94.
- Lemmens, L., Tiback, E., Svelander, C., Smout, C.H., Ahrné, L., Langton, M., Alminger, M., Van Loey, A., Hendrickk, M. 2009. Thermal pretreatments of carrot pieces using different heating techniques: effect on quality related aspects. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 43: 1011-1016.
- Mitra, P., y Meda, V. 2009. Optimization of microwave-vacuum drying parameters of Saskatoon berries using response surface methodology. *Drying Technology*, 27: 1089-1096.
- Mousa, N. y Farid, M. 2002. Microwave vacuum drying of banana slices. *Drying Technology*, 20, 2055-2066.
- Ozkoc, S.O., Sumnu, G., Sahin, S. 2014. Recent development in microwave heating. In: Da-Wen Sun (Ed.). *Emerging technologies for Food Processing*. Academic Press, 361-383.
- Ozuna, C., Cárcel, J.A., García-Pérez, J.V., Mulet, A. 2011. Improvement of water transport mechanisms during potato drying by applying ultrasound. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 2511-2517.
- Ramallo, L.A., y Mascheroni, R.H. 2013. Effect of shrinkage on prediction accuracy of the water diffusion model for pineapple drying. *Journal of Food Processing Engineering*, 36: 66-76.
- Rastogi, N.H., Raghavarao, K.S.M.S., Niranjana, K. and Knorr, D. 2002. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology*, 13: 48-59.
- Rodrigues, S., Fernandes, F.A.N. 2007. Ultrasound in fruit processing. In: *New Food Engineering Research Trends*, Urwaye, A.P., Ed., Nova Science Publishers: Hauppauge, NY, 103-135.
- Simal S, Femenia A, García-Pascual P, Rosselló C. 2003. Simulation of the drying curves of a meat-based product: Effect of the external resistance to mass transfer. *Journal of Food Engineering*, 58: 193-199.
- Soria, A.C., Corzo-Martinez, M., Montilla, A., Riera, E., Gamboa-Santos, J., y Villamiel, M. 2010.



Chemical and physicochemical quality parameters in carrots dehydrated by power ultrasound. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 7715–7722.