

## Mejora del secado convencional de zanahoria por aire caliente con pretratamiento de microondas

Muñoz, María V.<sup>1</sup>; Kvapil, María F.<sup>1</sup>; Iturriaga, Laura B.<sup>1</sup>

(1) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL), Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. [mvirginiam12@gmail.com](mailto:mvirginiam12@gmail.com), [florykvapil@hotmail.com](mailto:florykvapil@hotmail.com), [laura.iturriaga@gmail.com](mailto:laura.iturriaga@gmail.com)

### RESUMEN

Se deshidrataron rodajas de zanahoria utilizando dos métodos de secado: aire caliente (SC) (secado convectivo convencional) y microondas como tratamiento previo a la aplicación de aire (SMC). Los tratamientos de secado al aire se realizaron a dos temperaturas diferentes: 60 y 80 °C manteniendo la velocidad de aire constante. Con respecto al tratamiento con microondas se utilizó la máxima potencia del dispositivo (1180 W) hasta alcanzar una pérdida de peso adecuada y luego se concluyó el secado siguiendo las mismas condiciones de secado convectivo. Se obtuvieron las curvas de cinética de secado correspondientes para cada tratamiento aplicado y se compararon. Además, se determinó la rehidratación del producto final como propiedad física. Las rodajas de zanahoria deshidratadas con el tratamiento previo de microondas resultaron con menor contenido de humedad en un menor tiempo y mayor potencial de rehidratación en comparación con las obtenidas mediante deshidratación por convección.

### ABSTRACT

Carrot slices were dehydrated using two drying methods: hot air (SC) (conventional convective drying) and microwave as a pre-treatment to the application of air (SMC). The air drying treatments were carried out at two different temperatures: 60 and 80 °C, keeping the air speed constant. In regard to the microwave treatment, the maximum power of the device (1180 W) was used until an adequate weight loss was achieved and then the drying was concluded following the same convective drying conditions. The appropriate drying kinetic curves were obtained for each applied treatment and compared. In addition, the rehydration of the final product was determined as a physical property. Carrot slices dehydrated with the microwave pre-treatment resulted in lower moisture content in a shorter time and higher rehydration potential compared to those obtained by convection dehydration.

Palabras claves: zanahoria – deshidratación – microondas

Keywords: carrot – dehydration – microwave

## 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, la deshidratación de matrices vegetales representa un incentivo económico. Es por esta razón, que uno de los mayores desafíos es encontrar métodos eficientes con costos de procesamiento razonables (Rodríguez, 2019). En este sentido, el secado con aire caliente o convectivo es el método convencional, ya que es de aplicación e instalación sencilla y bajo costo. Sin embargo, posee desventajas como pérdidas nutricionales, alteración de color, encogimiento del producto y tiempo de procesamiento prolongado (Nawirska, 2009). De acuerdo con Kumar (2017), la eficiencia energética, la calidad del producto obtenido y el tiempo de secado son los principales factores a tener en cuenta en este proceso. Por ello, resulta necesario utilizar tecnologías alternativas como el secado por microondas, el cual ha ganado mayor interés en estos últimos tiempos ya que permite un calentamiento volumétrico, incrementa la velocidad de secado, mejora la calidad del producto y posee mayor eficiencia energética comparado con el método convectivo convencional.

La rehidratación es un proceso complejo donde se tiende a restaurar las propiedades del material fresco, cuando el alimento deshidratado se pone en contacto con agua. Ya que ésta depende de los pretratamientos y del secado, la rehidratación puede ser tomada como una medida de los daños que el tejido ha sufrido (Lewicki, 1998). Entonces este índice puede ser utilizado como indicador de la calidad de los alimentos deshidratados.

Por otra parte, en la Argentina el cultivo de zanahoria es muy importante ubicándose la provincia de Santiago del Estero en tercer lugar a nivel nacional de producción (Alessandro, 2011). De acuerdo a estos autores, el mayor porcentaje de la hortaliza se destina al consumo en fresco, mientras que solo una pequeña proporción se deshidrata.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es aplicar el secado por microondas como etapa previa al método convencional y comparar ambas metodologías con el fin de optimizar el procesamiento de secado de rodajas de zanahoria.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Material vegetal

Se trabajó con zanahorias frescas (*Daucus carota* subsp. *sativus*) obtenidas en el mercado local de Santiago del Estero, las cuales se mantuvieron refrigeradas a  $4 \pm 0,5$  °C hasta su procesamiento. Las hortalizas se lavaron, pelaron y luego se cortaron con un rebanador manteniendo un ángulo de 45° aproximadamente con respecto al plano longitudinal, con el fin de obtener rodajas de mayor diámetro y

con un espesor  $2,4 \pm 0,3$  mm. Luego, las muestras se sometieron a dos métodos de secado que se describen a continuación.

### 2.2 Secado

#### 2.2.1 Secado convencional con aire caliente

Para este método, se utilizó una estufa de convección forzada (Tecnodalvo) con circulación de aire a velocidad constante. Antes de colocar las muestras, se establecieron las condiciones de temperatura de trabajo estables dentro de la estufa.

Se colocaron muestras previamente pesadas de zanahoria tanto predeshidratadas en microondas, así como frescas a temperatura de 60 y 80 °C. Se extrajeron y se pesaron muestras cada 15 minutos en la primera hora y luego cada 30 minutos hasta alcanzar el peso constante. Además, se determinaron los sólidos totales del vegetal fresco en estufa de vacío a 70 °C hasta peso constante según se describe en el método 920.151 (AOAC, 1990).

Con los datos obtenidos, se calculó el contenido de humedad (Ec. 1) en base seca de acuerdo con Kroehnke (2018):

$$X_t = \frac{M_t - M_s}{M_s} \quad (1)$$

donde  $M_t$  es la masa de las muestras registradas en el tiempo  $t$  y  $M_s$  la masa de la muestra seca obtenida a partir del valor de sólidos totales determinado en la muestra fresca.

Por otra parte, la relación de humedad (RH) que representa el contenido de humedad en un tiempo determinado con respecto a su valor inicial (Sadeghi, 2019), fue calculado de acuerdo a la ecuación (2).

$$RH = \frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (2)$$

donde  $X_{eq}$  y  $X_0$  representan la humedad de equilibrio e inicial de la muestra, respectivamente. Sin embargo, tal como lo indican dichos autores, el valor de humedad en el equilibrio puede ser despreciable comparativamente con el resto de los valores de la ecuación, pudiéndose simplificar la misma de la siguiente manera (Ec. 3):

$$RH = \frac{X_t}{X_0} \quad (3)$$

Los valores calculados de RH fueron representados en función del tiempo para obtener las curvas de cinética de secado.

### 2.2.2 Tratamiento por microondas

El tratamiento previo con microondas se realizó en un horno doméstico. Se colocaron las rodajas de zanahoria en una bandeja a potencia máxima del dispositivo (1180 W) durante un tiempo tal que asegure una pérdida de peso ( $\Delta P$ ) en un rango del 80% aproximadamente, con respecto al peso inicial del vegetal fresco. Para ello, se extrajeron las rodajas cada 30 segundos y se pesaron hasta alcanzar dicha  $\Delta P$ , lo cual se logró en un tiempo total de 2 minutos. Luego, se finalizó el proceso de secado con el método convencional propuesto anteriormente.

### 2.3 Rehidratación

El potencial de rehidratación de las muestras secas de los dos tratamientos aplicados se evaluó sumergiendo alrededor de 1 - 2 g de muestra en agua. El ensayo se realizó en un baño termostático, manteniendo la temperatura a 30 °C. Se registró el peso de las muestras a los 0, 2, 4, 6, 8 y 10 minutos de inmersión de las mismas. Con los datos obtenidos se calculó la relación de rehidratación (RR) según la ecuación (4).

$$RR = \frac{Mr}{Md} \quad (4)$$

donde Mr y Md corresponden al peso de la zanahoria rehidratada y deshidratada respectivamente (Gamboa-Santos, 2013).

La pendiente de la relación de rehidratación frente al tiempo se definió como la tasa de rehidratación.

## 3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los ensayos se realizaron por triplicado y los resultados se informaron como su promedio  $\pm$  desviación estándar (DE). Los resultados fueron comparados estadísticamente mediante el análisis de varianza (ANOVA) y el test de Fisher, con un nivel de confianza de 95% utilizando el software libre INFOSAT versión 2019 (Di Rienzo, 2019).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Secado

En la Fig. 1 se presentan las curvas de secado con los métodos aplicados a 60 y 80 °C. Como se observa, RH disminuye exponencialmente con el tiempo de tratamiento cuando se aplica la deshidratación convectiva, presentando el comportamiento típico de secado de vegetales, tal como se observó en zanahoria (Chen, 2018), zapallo (Roongruangsri, 2016) y mango (Mugodo, 2021), entre otros.

En relación a la temperatura de secado, se obtuvo una mayor velocidad de secado a 80°C lo cual se observa

por una disminución más pronunciada de la humedad en el tiempo dado por la mayor fuerza impulsora a la transferencia de masa en lo que respecta al método convectivo.

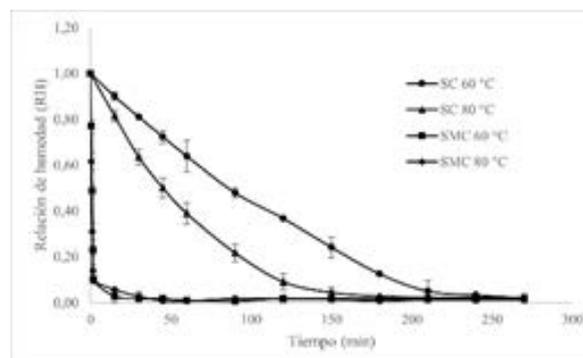


Figura 1. Curvas de secado convectivo (SC) y con microondas (SMC) a 60 y 80 °C.

Suvarnakuta (2005) establecieron como valor final un contenido de humedad de 0,1 (g agua/g materia seca) para cubos de zanahoria de 1 cm<sup>3</sup> y el tiempo resultante fue 420 y 240 minutos cuando utilizaron aire caliente a 60 y 80 °C, respectivamente. Tomando el mismo criterio, el tiempo de secado fue 270 y 210 minutos cuando se utilizaron las mismas temperaturas, sin embargo, la disminución de tiempo puede ser atribuido a la diferencia en la geometría utilizada por dichos autores.

El tratamiento previo con microondas se realizó durante 2 min y la variación de RH con respecto al tiempo fue mucho mayor comparado con el método convectivo (Fig. 1). Al finalizar el tiempo de microondas aplicado, el valor de humedad obtenido fue de 0,60  $\pm$  0,06 (g agua/g materia seca). Luego, se necesitaron 90 minutos de secado convectivo para alcanzar el valor de humedad final fijado, mientras que no se observaron diferencias significativas entre las temperaturas de secado empleadas (datos no mostrados).

Kumar (2017) reportaron que para determinar el ahorro de tiempo (%) que provee la aplicación de microondas, se divide la reducción en el tiempo de secado sobre el tiempo total de secado convectivo. De acuerdo a esto, en este trabajo se logró un ahorro del 66 y 57%, en comparación con el secado con aire caliente a 60 y 80°C, respectivamente. Este comportamiento fue reportado por varios autores cuando aplicaron esta tecnología combinada o previo al secado convencional en diferentes matrices vegetales (Contreras, 2008; Wiset, 2021; Alibas, 2007; entre otros).

#### 4.2 Índice de rehidratación

La capacidad de rehidratación es un parámetro que permite evaluar la calidad del método de secado aplicado. En el presente trabajo los resultados de este índice se muestran en las Fig. 2 (a y b) correspondiente a rodajas de zanahoria deshidratadas a 60 y 80 °C, respectivamente.

Como se puede observar, al inicio hubo una tasa más alta de rehidratación en todos los ensayos realizados. Estos resultados se deben a una estructura menos densa y altamente porosa del tejido vegetal que permite la rápida absorción de agua. Resultados similares fueron observados por Lin (1998) y Nahimana (2011). Por lo tanto, al colocar las muestras deshidratadas en agua, las células tienden a volver a su estado original (Seremet, 2016).

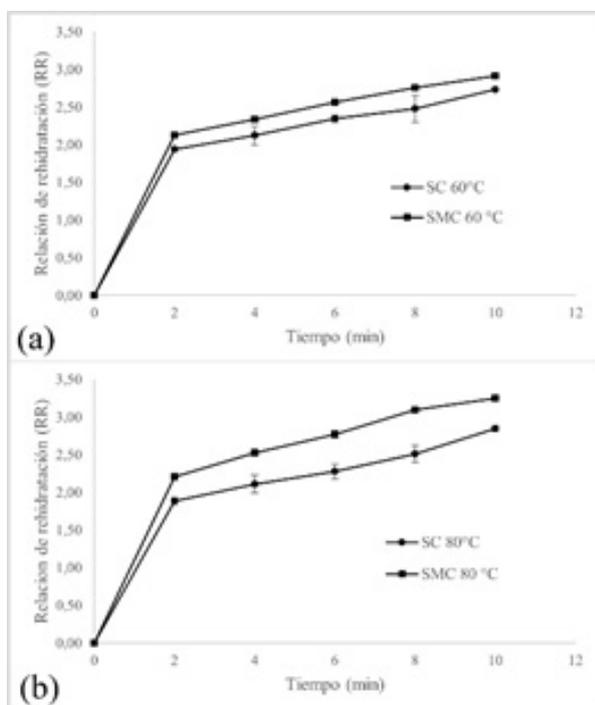


Figura 2. Curva de rehidratación de rodajas de zanahorias deshidratadas por convección y por microondas a 60 (a) y 80 °C (b).

Por otra parte, al comparar los métodos aplicados, las rodajas de zanahoria deshidratadas previamente con microondas muestran una relación de rehidratación más elevada que las deshidratadas solo por el método convectivo, encontrándose una diferencia significativa mayor cuando el tratamiento fue a 80 °C. Este resultado se debe a que el microondas favorece a la formación de productos más porosos aumentando de esta forma su índice de rehidratación. Similares resultados fueron obtenidos por Monteiro (2018) cuando aplicaron microondas con y sin pulsos de vacío a rodajas de zapallo.

Obtener alimentos porosos es uno de los principales usos del microondas, sobre todo cuando se deshidratan vegetales. En este trabajo se obtuvo de manera satisfactoria rodajas de zanahoria cuando se deshidrataron previamente con microondas (Fig. 3). Dicho resultado provee de propiedades texturales que son deseadas por los consumidores, por lo tanto, sería apropiado para desarrollar un snack con este vegetal utilizando la tecnología citada (Lin, 1998).



Figura 3. Zanahorias deshidratadas con pretratamiento de microondas.

#### 5 CONCLUSIÓN

Se obtuvieron las cinéticas de secado y se determinó que con el pretratamiento de microondas se redujo notablemente el tiempo de secado. Por otra parte, las curvas de rehidratación mostraron que el índice de rehidratación es mayor, lo que indica que este tipo de secado mejora la calidad estructural.

Todo esto muestra que la combinación de ambos tipos de secado puede ser utilizado como tecnología para obtener snacks de zanahoria deshidratada con mejores propiedades respecto del método convencional. Actualmente, la tecnología de microondas no se emplea a nivel industrial en la Argentina, lo cual abre las posibilidades de estudio y la promisoría transferencia a la industria en el campo de la deshidratación de vegetales.

Por lo tanto, es necesario realizar estudios físico-químicos y texturales de la materia prima, de los cambios durante el proceso y de vida útil del producto final, a fin de contar con el conocimiento que permita la aplicabilidad y el escalado a nivel industrial.

#### 6 REFERENCIAS

Alessandro, M. S., Gabriel, E. L., Panorama varietal

- del cultivo de zanahoria en Argentina, *Horticultura Argentina*, 30, 14-19, 2011.
- Alibas, I., Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices, *LWT – Food Science and Technology*, 40, 1445-1451, 2007.
- AOAC, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, 1990.
- Chen, J., Venkitasamy, C., Shen, Q., McHugh, T. H., Zhang, R., Pan, Z., Development of healthy crispy carrot snacks using sequential infrared blanching and hot air drying method, *LWT - Food Science and Technology*, 97, 469-475, 2018.
- Contreras C., Martín-Esparza, M. E., Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry, *Journal of Food Engineering*, 88, 55-64, 2008.
- Di Rienzo J. A., Balzarini M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada M., Robledo C. W., InfoStat versión 2019. FCA - UNC. <http://www.infostat.com.ar/>. 9.11.21.
- Gamboa-Santos, J., Soria, A. C., Villamiel, M., Montilla, A., Quality parameters in convective dehydrated carrots blanched by ultrasound and conventional treatment, *Food Chemistry*, 141, 616-624, 2013.
- Kroehnke, J., Szadzińska, J., Stasiak, M., Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Musielak, G., Ultrasound and microwave assisted convective drying of carrots – Process kinetics and product's quality analysis, *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 249-258, 2018.
- Kumar, C., Karim, M. A., Microwave-convective drying of food materials: A critical review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, 379-394, 2017.
- Lewicki, P. P., Some remarks on rehydration of dried foods, *Journal of Food Engineering*, 36, 81-87, 1998.
- Lin, T. M., Durance, T. D., Scaman, C. H., Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices, *Food Research International*, 31, 111-117, 1998.
- Monteiro, R. L., Link, J. V., Tribuzi, G., Carciofi, B. A. M., Laurindo, J. B., Microwave vacuum drying and multi-flash drying of pumpkin slices, *Journal of Food Engineering*, 232, 1-10, 2018.
- Mugodo, K., Workneh, T. S., The kinetics of thin-layer drying and modelling for mango slices and the influence of differing hot-air drying methods on quality, *Heliyon*, 7, 2021.
- Nahimana, H., Zhang, M., Shrinkage and color change during microwave vacuum drying of carrot, *Drying Technology*, 29, 836-847, 2011.
- Nawirska, A., Figiel, A., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A., Biesiada, A., Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods, *Journal of Food Engineering*, 94, 14-20, 2009.
- Rodriguez, A., Bruno, E., Paola, C., Campañone, L., Mascheroni, R. H., Experimental study of dehydration processes of raspberries (*Rubus Idaeus*) with microwave and solar drying, *Food Science and Technology*, 39, 2019.
- Roongruangsri, W., Bronlund, J. E., Effect of air-drying temperature on physico-chemical, powder properties and sorption characteristics of pumpkin powders, *International Food Research Journal*, 23, 962-972, 2016.
- Sadeghi, E., Movagharnjad, K., Haghighi Asl, A., Parameters optimization and quality evaluation of mechanical properties of infrared radiation thin layer drying of pumpkin samples, *Journal of Food Process Engineering*, 2019.
- Seremet, L., Botez, E., Nistor, O.-V., Andronoiu, D.-G., Mocanu, G.-D., Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices, *Food Chemistry*, 195, 104-109, 2016.
- Suvarnakuta, P., Devahastin, S., Mujumdar, A. S., Drying kinetics and  $\beta$ -carotene degradation in carrot undergoing different drying processes, *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, 70, 250-256, 2005.
- Wiset, L., Poomsa-ad, N., Onsaard, W., Drying characteristics and quality evaluation in microwave-assisted hot air drying of cherry tomato, *Engineering and Applied Science Research*, 48, 724-731, 2021.