

ESTUDIO COMPARATIVO DE SECADO DE ZAPALLO (*Cucurbita moschata* Duch.) VARIANDO MÉTODO Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

COMPARATIVE PUMPKIN (*Cucurbita moschata* Duch.) DRYING STUDY VARYING METHOD AND PREPARATION OF THE SAMPLE

Paola Yacanto¹, Edgar M. Soteras¹, Julio Gil¹, María E. Mícolo¹, Clidia R. Abaca¹

(1) Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias,
Ruta Prov. Nº 55 (Ex. 148) Extremo Norte, (5730) V. Mercedes, San Luis - Argentina
(e-mail: clidia_avm@hotmail.com)

Recibido: 31/08/2017 - Evaluado: 31/10/2017 - Aceptado: 10/01/2018

RESUMEN

El trabajo se basó en estudios de laboratorio para obtención de las curvas de secado de muestras de zapallo variedad anco (*Cucurbita moschata* Duch.), evaluación y comparación de las mismas. Se analizaron las muestras en tres presentaciones: triturado, rallado en hebras irregulares y en trozos de forma cilíndrica, sometiendo las mismas a secado en termobalanza y en estufa mediante convección natural ambas a 65 °C, controlando la evolución del peso por método gravimétrico. Las curvas de secado en todos los casos mostraron una tendencia similar. Los resultados observados mostraron un buen ajuste a los tres modelos semiempíricos propuestos, Page, Midili y Parabólico, para cada uno de los parámetros representativos de los mismos en todo el rango de humedad del producto. En termobalanza el menor tiempo de secado fue para la muestra en hebras (rallado) y en estufa para la presentación en cilindro.

ABSTRACT

The work was based on laboratory studies to obtain drying curves of samples of anco variety pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.), evaluation and comparison of them. The samples were analyzed in three presentations: crushed, grated into irregular strands and into pieces of cylindrical shape, subjecting them to drying in thermobalance and stove by natural convection both at 65 °C, controlling the evolution of weight by gravimetric method. The drying curves in all cases showed a similar trend. The observed results showed a good adjustment to the three semi-empirical models proposed, Page, Midili and Parabolic, for each one of the representative parameters of the same in all the humidity range of the product. In thermobalance the shortest drying time was for the sample in strands (grated) and in the stove for presentation in cylinder.

Palabras clave: zapallo, modelado, curvas de secado, actividad de agua
Key words: pumpkin, modeling, drying curves, water activity

INTRODUCCIÓN

La calabaza variedad anco (*Cucurbita moschata Duch.*) es un fruto que se utiliza ampliamente como alimento procesado para uso humano y animal en diferentes partes del mundo. En la República Argentina se produce en varias regiones, siendo las principales la zona de cuyo y el noroeste, alcanzando una producción anual del orden de las 50.000 Toneladas (Della Gaspera, 2013). El contenido de humedad ronda el 90% y el contenido de sólidos es relativamente bajo entre un 7% y 10 % (Arévalo-Pinedo & Murr, 2006; Alibas, 2007; Guiné *et al.*, 2011), es rica en alfa y beta caroteno, vitaminas (C, B y E), minerales (K y Mg), fibra dietética y pectina (Hashim *et al.*, 2014). La calabaza es un cultivo de temporada, y sin procesar son muy sensibles al deterioro microbiano, incluso en condiciones refrigeradas, es por ello que deben ser congeladas o secadas (Doymaz, 2007). En los últimos años, la industria agrícola, la industria alimenticia y la industria farmacéutica han adquirido un creciente interés por los productos de calabazas, dado que esta fruta no acumula metales pesados ni nitratos. Esta característica es una ventaja de las mismas en cuanto a todas sus aplicaciones alimenticias (Sojak & Głowacki, 2010).

El secado es uno de los métodos más antiguos y comúnmente utilizados para la conservación de alimentos. Se sabe que el proceso de secado es muy afectado por las condiciones de aire de secado y la dimensión característica del material. El conocimiento de la temperatura y la distribución de la humedad en el producto es esencial para el diseño del proceso de secado y el control de calidad (Hashim *et al.*, 2014). Los métodos de secado se clasifican dependiendo del mecanismo de transferencia de calor interviniente (conducción, convección, radiación). El método de secado más utilizado hasta el momento es el secado convectivo utilizando aire caliente para promoverlo. Sin embargo hay una serie de problemas asociados a la utilización de aire caliente para el secado de alimentos. Los principales inconvenientes están vinculados a las pérdidas de calidad de los productos, produciendo pérdidas en el color, textura, y ciertos cambios químicos que afectan el sabor y promueven importantes pérdidas de nutrientes, la disminución de la densidad y la capacidad de absorción de agua y el desplazamiento de los solutos de la parte interna del material de secado a la superficie, debido al largo período de secado y a la alta temperatura. Cuando la temperatura en el secado convectivo se reduce, los tiempos de operación deben aumentarse y los costos asociados se incrementan progresivamente haciendo que la reducción de la temperatura en este proceso sea inaceptable (Alibas, 2007; Arballo, 2013). El secado además de proporcionar una vida útil más larga, también origina menores necesidades de espacio para el almacenamiento y un peso más ligero para el transporte. El secado de productos agrícolas puede realizarse en equipos cerrados (secadores solares o industriales) para garantizar la calidad del producto final (Doymaz, 2007). Por otro lado, la extracción de humedad del zapallo se ha realizado para diferentes formas regulares como cilindros (Nawirska *et al.*, 2009; Guiné *et al.*, 2011), capa finas de diferentes espesores (Hashim *et al.*, 2014; Doymaz, 2007), cubos (Sojak & Głowacki, 2010) y placas rectangulares (Alibas 2007; Arévalo-Pinedo & Murr, 2007; Arévalo-Pinedo & Murr, 2006), y es limitado su estudio en geometrías irregulares. Además, se conoce que diferentes especies de zapallos pueden desecarse a distintas velocidades (Nawirska *et al.*, 2009). Desde el punto de vista de la ingeniería, es importante desarrollar una mejor comprensión de los parámetros de control de este complejo proceso. Los modelos matemáticos de los procesos de secado se utilizan para diseñar nuevos sistemas de secado o a mejorar los existentes o incluso para el control del proceso de secado (Doymaz, 2007). Se han propuesto muchos modelos matemáticos de capa delgada para describir el proceso de secado del material agrícola. Entre ellos, los modelos semi-teóricos son ampliamente utilizados. Algunos modelos que se han ajustado exitosamente a las condiciones de secado de zapallo propuestas, encontradas en literatura, son los modelos de Page, logarítmico y Verma y otros (Akpınar, 2006; Doymaz, 2007), y Midili-Kucuk (Akpınar, 2006).

El trabajo se basó en estudios de laboratorio para obtención de las curvas de secado de muestras de zapallo variedad anco (*C. moschata Duch.*) en diferentes presentaciones iniciales: Triturado, rayado en hebras irregulares y en trozos de forma cilíndrica, evaluación de modelos utilizados y comparación de las mismas.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se basó en la obtención de curvas de secado de muestras de zapallo variedad anco (*C. moschata Duch.*) de producción nacional adquiridas en el mercado local, cuyo contenido inicial de humedad fue

de 89%. La temperatura de secado seleccionada fue de 65 °C ubicada dentro del rango de temperatura de otras investigaciones (Singh *et al.*, 2008; Hashim *et al.*, 2014). También se realizó la medición de la actividad de agua, en la muestra inicial y final del proceso de secado, utilizando un equipo AQUALAB, Modelo Series 3TE.

Preparación de las muestras y métodos de secado

Se trabajó con muestras cortadas en diferentes tamaños y formas, previamente lavadas con agua potable para eliminar impurezas, peladas en forma manual y cortadas en las tres formas que se detallan a continuación:

- Cilindros: 20 mm de diámetro y 3 mm de espesor
- Rallado: hebras obtenidas del rallado de rodajas de 20 mm de espesor, el tamaño aproximado de las hebras fue de 20 x 3 mm.
- Triturado: Pasta obtenida con una trituradora de cuchillas

El secado de las muestras se realizó por dos métodos:

- Secado por convección natural con aire caliente y sin circulación forzada a 65 °C: en estufa con regulador de temperatura marca TECNO DALVO modelo TDE 140. Las muestras colocadas en placas de Petri de vidrio se pesaron en balanza electrónica RADWAG AS220. El control de la evolución del peso de la muestra fue realizada en estado no estacionario y con el mínimo tiempo de exposición y pesado. El secado se realizó hasta obtener peso constante.
- Secado por radiación a 65 °C: en Analizador electrónico de humedad (termobalanza) marca KERN MLB_N, versión 2.1 04/2010, que utiliza una lámpara halógena de 400 W como fuente de calor. Las muestras fueron alojadas en el platillo del equipo.

Curvas de secado. Modelos

Durante la operación de secado se obtuvieron los datos por triplicado del peso de la muestra para distintos tiempos. Debido a que el contenido inicial de humedad en las distintas muestras no fue el mismo, se llevó a cabo una parametrización de los datos experimentales. Estos datos fueron expresados en términos de la relación de humedad (RH), parámetro adimensional (ver ecuación 1) con el objeto de realizar el estudio comparativo entre la preparación de las muestras, el método de secado y su respectivo modelado. Las curvas de secado se graficaron a partir de los datos experimentales expresados en RH vs tiempo. La relación de humedad durante el secado se obtuvo a partir de valores de contenido de humedad usando la siguiente ecuación:

$$RH = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (1)$$

Donde: RH: relación de humedad adimensional, M_t : contenido de humedad en cualquier momento del secado (kg agua/kg materia seca), M_i : contenido de humedad inicial (kg agua/kg materia seca), M_e : contenido de humedad de equilibrio (kg agua/kg materia seca) (Alfolabi *et al.*, 2014).

Cuando la muestra alcanzó su peso constante se asumió que el agua libre se eliminó por completo, por lo que en este punto del secado el peso de la muestra corresponde a la masa de sólidos secos de la misma. El contenido de humedad en el equilibrio, es el contenido de humedad alcanzado cuando el cambio en el peso de la muestra fue insignificante, es decir cuando la muestra alcanzó un peso constante. Por lo dicho en el párrafo anterior, este contenido de humedad en el equilibrio se consideró despreciable. Los datos experimentales fueron ajustados a distintos modelos semiempíricos de capa delgada de los cuales el modelo de Page (ver ecuación 2) (Doymaz, 2007; Singh *et al.*, 2008), Midili (ver ecuación 3) (Ozbek & Dadalli, 2007) y Parabólico (ver ecuación 4) (Sharma & Prasad, 2004; Doymaz, 2010a; Doymaz, 2010b) tuvieron una mejor convergencia.

Page: $RH = \exp(-kt^n)$ (2)

Midili: $RH = a \exp(-kt^n) + bt$ (3)

Parabólico: $RH = a + bt + ct^2$ (4)

Donde: t : tiempo (min); a, b, c, k y n : constantes del producto

Los parámetros estadísticos tales como el coeficiente de correlación (R^2), el coeficiente chi-cuadrado (χ^2) y la suma de los cuadrados de los errores (SSE) fueron usados para determinar la bondad del ajuste. El modelo que presentó un mayor valor de R^2 y un menor valor del chi-cuadrado y SSE fue el que mejor describió la variación de los valores de la relación de humedad, RH, con el tiempo (t) (Alfolabi *et al.*, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSION

En las Fig.1 y Fig.2 se muestran los datos experimentales obtenidos en termobalanza y en estufa por convección, respectivamente, para el secado de los tres tipos de preparaciones (rallado, cilindros y triturado). De la observación de los datos, surge que para el secado en termobalanza hay similitud de comportamientos entre las tres presentaciones a lo largo de todo el ciclo de secado (Fig.1), donde el tiempo de secado fue menor en la muestra rallado, mientras que para el secado en estufa hay diferencias apreciables en gran parte del ciclo observándose al final del mismo la convergencia de las curvas de secado para las distintas formas de presentación (Fig.2), mostrándose para este caso que el tiempo de secado fue menor para la muestra en cilindros. Estos resultados muestran correspondencia con los reportados en otras investigaciones (Doymaz, 2007; Nawirska *et al.*, 2009; Guiné *et al.*, 2011; Hashim *et al.*, 2014).

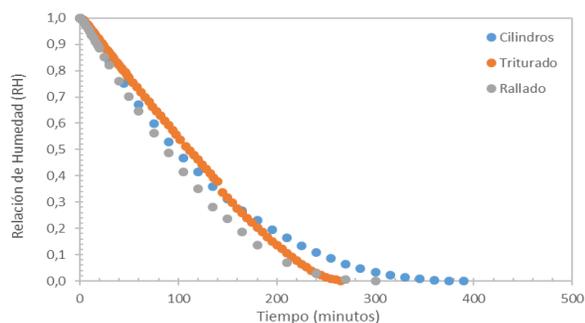


Fig.1: Secado en termobalanza a 65 °C para los distintos formatos

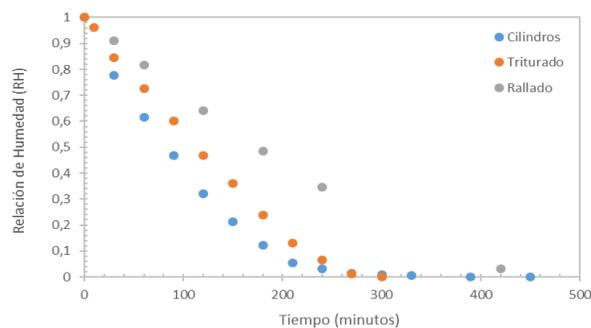


Fig.2: Secado en estufa por convección a 65 °C para los distintos formatos

Hasta una relación de humedad (RH) de aproximadamente 0,5 el comportamiento presentó una variación lineal, que se correspondería con un estado de libre disponibilidad del agua. A partir de ese valor se empieza a mostrar una pendiente decreciente hasta un rango de RH de 0,2-0,1 a partir del cual la pendiente se hace constante. En esta última etapa comienzan a manifestarse comportamientos que reflejan la dificultad de extracción del agua, con una velocidad de secado cada vez menor hasta el aplanamiento de la curva. La forma de las curvas guardan similitud a las observadas en otros trabajos: estudio de la cinética de secado para rodajas de zapallo (Nawirska *et al.*, 2009), estudio el secado de zapallo Anco (*C. moschata Duch.*) en un secador de aire caliente (Norhashila *et al.*, 2014) y estudio de métodos de secado y rehidratación de zapallo (*C. moschata Duch.*) (Seremet *et al.*, 2016).

En las Figuras 3 y 4 se muestran los ajustes de los tres modelos propuestos a los datos experimentales obtenidos en termobalanza y en estufa por convección, respectivamente. El modelado acompaña la observación realizada para las curvas experimentales. En las Tablas 1 y 2 se muestran los valores de los parámetros de los tres modelos empleados. De los valores de los parámetros estadísticos para el secado en termobalanza el modelo que mejor ajustó, para muestras en cilindros y rallado, fue el Parabólico, y para la muestra triturado el

modelo de Midili. Para el secado en estufa el modelo que mejor ajusto, en el caso de cilindros fue de Page, para la muestra triturado el Parabólico y para la muestra rallado fue el de Midili.

Tabla 1: Parámetros de los modelos de secado en termobalanza

Modelo de Page $RH = \exp(-kt^n)$							
Formato	k	n	R ²	χ^2	SSE		
Cilindros	0,00212	1,26808	0,99874	0,00021	0,00019		
Triturado	0,00061	1,51462	0,99375	0,00085	0,00083		
Rallado	0,00206	1,31351	0,99828	0,00027	0,00025		
Modelo de Midili $RH = a \exp(-kt^n) + bt$							
	k	n	a	b	R ²	χ^2	SSE
Cilindros	0,00681	1,01137	1,02588	-0,00023	0,99849	0,00023	0,0002
Triturado	0,00128	1,28277	0,99472	-0,00084	0,99930	0,00008	0,00008
Rallado	0,00248	1,25264	0,99520	-0,00021	0,99949	0,00007	0,00006
Modelo Parabólico $RH = a + bt + ct^2$							
	a	b	c	R ²	χ^2	SSE	
Cilindros	0,99896	-0,00577	8,379 10-6	0,99905	0,00014	0,00012	
Triturado	1,02047	-0,00535	5,099 10-6	0,99874	0,00015	0,00014	
Rallado	1,01556	-0,00699	1,196 10-5	0,99977	0,00003	0,00003	

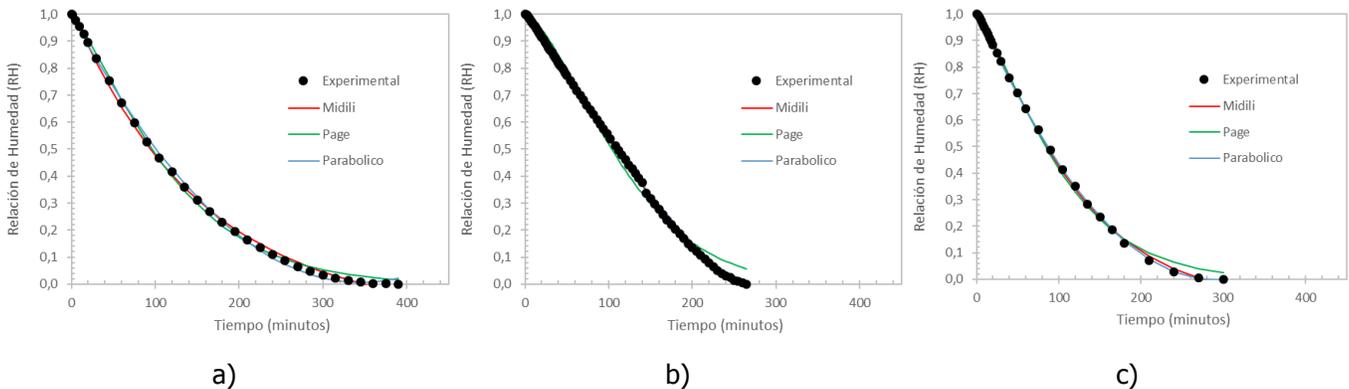


Fig. 3: Comparación de datos experimentales y predichos en termobalanza: a) Cilindros; b) Triturado; c) Rallado

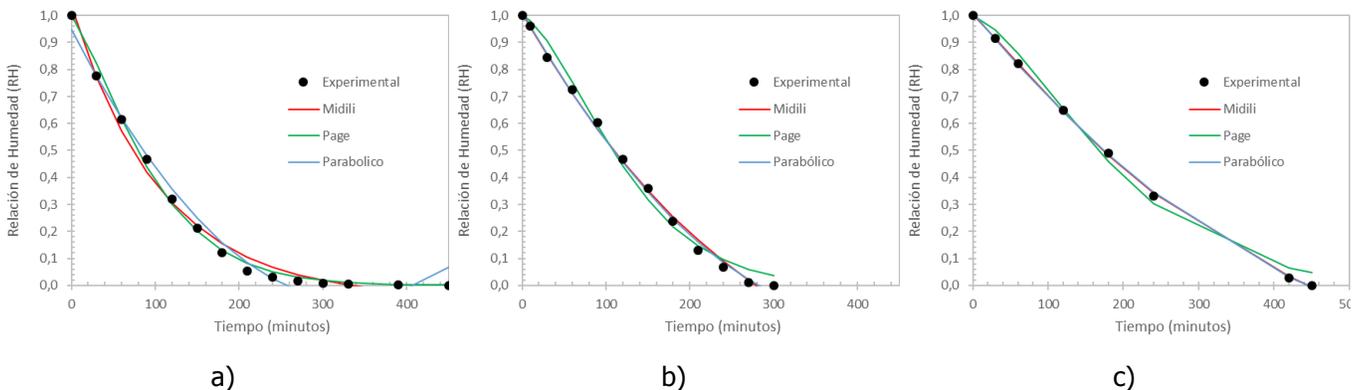


Fig. 4: Comparación de datos experimentales y predichos en estufa por convección: a) Cilindros; b) Triturado; c) Rallado

Tabla Nº 2: Parámetros de los modelos de secado en estufa de convección natural

Modelo de Page $RH = \exp(-kt^n)$							
Formato	k	n	R²	χ^2	SSE		
Cilindros	0,00222	1,31432	0,99672	0,00043	0,00036		
Triturado	0,00054	1,52936	0,99271	0,00091	0,00079		
Rallado	0,00034	1,48957	0,99374	0,00130	0,00097		
Modelo de Midili $RH = a \exp(-kt^n) + bt$							
	k	n	a	b	R²	χ^2	SSE
Cilindros	0,00877	1,02287	1,03221	-0,00011	0,99061	0,00135	0,00096
Triturado	0,00386	1,04498	1,01023	-0,00091	0,99617	0,00048	0,00036
Rallado	0,00169	1,12238	1,00367	-0,00046	0,99964	0,00009	0,00005
Modelo Parabólico $RH = a + bt + ct^2$							
	a	b	c	R²	χ^2	SSE	
Cilindros	0,9472	-0,00599	8,978 10-6	0,98564	0,00186	0,00146	
Triturado	1,01437	-0,00543	6,477 10-06	0,99748	0,00029	0,00024	
Rallado	1,00967	-0,00336	2,447 10-6	0,99955	0,00009	0,00005	

La medición de actividad de agua en AQUALAB de la fruta empleada anterior al inicio de las experiencias fue de 0,984 y al final del secado para los casos de triturado y rallado resultó alrededor de 0,30 y para cilindros aproximadamente de 0,40, lo que nos indica una zona segura desde el punto de vista del deterioro microbiano (Barboza & Vega, 2000).

CONCLUSIONES

En lo que se refiere a la influencia de la metodología de secado, se pudo observar que en termobalanza las curvas para las tres preparaciones mantienen una tendencia similar durante todo el proceso y el tiempo de secado fue menor en la muestra rallado. En estufa se observó una variación significativa entre las preparaciones, mostrando que para la presentación en hebras (rallado) el secado fue más lento que las triturado y en cilindro, siendo este último el de menor tiempo de secado.

De acuerdo a los resultados del modelado se verificó que para el secado en termobalanza el modelo que mejor ajustó, para muestras en cilindros y rallado, fue el Parabólico, y para la muestra triturado el modelo de Midili. Para el secado en estufa el mejor ajuste se logró, con el modelo de Page para la presentación en cilindros, el Parabólico para triturado y el de Midili para la muestra rallado.

REFERENCIAS

1. Afolabi T.J., Tunde-Akintunde T.Y. & Adeyanju J.A. (2014). Mathematical modeling of drying kinetics of untreated and pretreated cocoyam slices. *J. Food Sci. Technol.*, 52 (5), 2731-2740.
2. Akpinar, E.K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, 73, 75-84.
3. Alibas, I. (2007). Microwave, air and combined microwave – air – drying parameters of pumpkin slices. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 1445-1451.
4. Arballo, J.R. (2013). Modelado y simulación de la deshidratación combinada osmótica-microondas de frutihortícolas. Ph. D. Tesis, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26611> (Consulta: 01/03/17)

5. Arévalo-Pinedo, A. & Murr, F.E.X. (2007). Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 80, 152–156.
6. Arévalo-Pinedo, A. & Murr, F.E.X. (2006). Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 76, 562–567.
7. Barboza-Cánovas G. & Vega-Mercado H. (2000). *Deshidratación de alimentos*, Cap. 3, pp. 63-65. ed. Acribia S.A.
8. Della Gaspera P. (2013). *Manual del cultivo del zapallo anquito*, Cap. 2, pp. 25-29. 1ª ed. INTA.
9. Doymaz, I. (2007). The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, 79, 243–248.
10. Doymaz, I. (2010a). Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of Amasya red apples. *Food Bioprod Process*, 88 (2-3), 124-132.
11. Doymaz, I. (2010b). Evaluation of mathematical models for prediction of thin-layer drying of banana slices. *Int. J. Food Prop.*, 13 (3), 486-497.
12. Guiné, R.P.F., Pinho, S. & Barroca, M.J. (2011). Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *Food and Bioproducts Processing*, 89, 422–428.
13. Hashim, N., Daniel, O. & Rahaman, E. (2014). A Preliminary Study: Kinetic Model of Drying Process of Pumpkins (*Cucurbita Moschata*) in a Convective Hot Air Dryer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 345–352.
14. Nawirska, A., Figiel, A., Kucharska, A.Z., Sokól-Letowska, A. & Biesiada, A. (2009). Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *Journal of Food Engineering*, 94, 14-20.
15. Norhashila, H., Onwude, D. & Ezdalina R. (2014). A Preliminary Study: Kinetic Model of Drying Process of Pumpkins (*Cucurbita Moschata*) in a Convective Hot Air Dryer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 345-352.
16. Ozbek, B. & Dadalli, G. (2007). Thin Layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *J. Food. Eng.*, 83, 541-549.
17. Seremet, L., Botez E., Nistor, O., Andronoiu, D. & Mocanu, G. (2016). Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices. *Food Chemistry*, 195, 104–109.
18. Sharma, G.P. & Prasad, S. (2004). Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave convective drying. *J. Food Eng.*, 65 (4), 609-617.
19. Singh, G.D., Sharma, R., Bawa, A.S. & Saxena, D.C. (2008). Drying and rehydration characteristics of water chestnuts (*trapanatans*) as a function of drying air temperature. *J. Food Eng.* 87, 213-221.
20. Sojak, M. & Głowacki, S. (2010). Analysis of giant pumpkin (*Cucurbita maxima*) drying kinetics in various technologies of convective drying. *Journal of Food Engineering*, 99 (3), 323–329.

