

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

MARACAIBO - VENEZUELA



Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- Science Citation Index (SCIExpanded)
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Zentralblatt Für Mathematik
- Current Mathematical Publications
- MathSci (online database)
- Reveneyt
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

Drying Kinetics of Cassava Chips (*Manihot esculenta crantz*) in Microwave

Carlos García-Mogollón^{a*}, Angélica Torregroza-Espinosa^b, Mauricio Sierra-Bautista^c

^aPrograma de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia.
e-mail: carlos.garcia@unisucra.edu.co

^bDocente, Corporación Universitaria del Caribe-CECAR, Sincelejo-Sucre. e-mail: angelica.torregroza@cecar.edu.co

^cDocente, Universidad de Antioquía, Apartado Aéreo 1226, e-mail: mauricio.sierra@udea.edu.co

Abstract

Drying cassava chips (*Manihot esculenta crantz*) to 0.4cm thick was made in a microwave oven; the effect of power, diameter and weight of the chips was evaluated using an experimental design completely randomized factorial arrangement 33 corresponding to the categorical variable with three power levels (140, 280 and 560W), diameter of the chip (2, 3 and 4 cm), weight cassava chips (20, 35 and 50 g), with three replicates for a total of 81 experimental units. Tukey's test was applied with a significance level of $p < 0.05$. Result indicate that the Midilli and Kucuk model was the one that best described the drying process in all treatments (SSE < 0.01 and $R^2 \Rightarrow 99\%$). The shortest drying time was obtained when it was performed at 560W in 4cm diameter chips (13,3min) and longer 140W was obtained (89,3min) chips of 2 cm.

Keywords: Modelling of drying, power, effective diffusivity, activation energy.

Cinética de Secado de Chips de Yuca (*Manihot esculenta crantz*) en Horno Microondas

Resumen

El secado de Chips de yuca (*Manihot esculenta crantz*) de 0,4cm de espesor fue realizado en un horno microondas; se evaluó el efecto de la potencia, el diámetro y el peso de los chips, empleando un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3^3 correspondiente a la variable potencia con tres niveles (140, 280 y 560W), diámetro del chip (2, 3 y 4cm), peso chips de yuca (20, 35 y 50 g), con tres repeticiones para un total de 81 unidades experimentales. Se aplicó el Test de Tukey con un nivel de significación de $p < 0,05$. Obteniéndose como resultado que el modelo de Midilli y Kucuk fue el que mejor describió el proceso de secado en todos los tratamientos (SSE $< 0,01$ y $R^2 \Rightarrow 99\%$). El menor tiempo se secado se obtuvo cuando éste se realizó a 560W en chips de 4cm de diámetro (13,3min) y el mayor tiempo se obtuvo a 140W (89,3min) en chips de 2 cm.

Palabras clave: Modelos de secado; potencia; difusividad efectiva.

Introducción

La producción de yuca en Colombia para el año 2013 fue de 2.172,870 ton, correspondiendo 1.192,875ton a la Costa Atlántica y 305,195ton a Córdoba [1]. De la producción total nacional, menos del 10% se procesa con destino a la alimentación animal o para obtener productos industriales, como almidones y pasabocas. Entre los usos industriales que presenta la harina de yuca, encontramos la sustitución de harina de trigo por harina de yuca en

la elaboración de pan que corresponde a un 3 al 20%, galletería 10%, carnes procesadas 100%, mezclas para coladas y sopas del 10 al 40%, dulces de leche frutas del 50 al 100%, condimentos del 50 al 100%, mezclas para apañados de carnes del 15 al 30% y snacks un 100% [2].

La deshidratación es un proceso que logra los objetivos de conservación a través de la reducción del contenido de agua y el decremento de los costos de transporte por la reducción de peso y volumen del alimento [3]. El secado de yuca en la Costa Caribe ha demostrado que las condiciones

de humedad relativa (89%) y la alta humedad de la yuca hacen que el proceso convencional de aire caliente y secado al sol genere dificultades operativas en el deterioro del producto y los tiempos largos del proceso [4]. El uso del microondas en secado resulta mucho más benéfico en la reducción del tiempo de proceso siendo más uniforme y más eficiente en el uso de la energía comparado con el secado con aire caliente natural o convectivo [5, 6, 7].

El secado de productos alimenticios está controlado por fenómenos de transferencia de masa y energía, que se describen usando modelos como el de Newton, Page, Page modificado, Henderson y Pabis modificado y Midilli et al. [8] que permiten no solo predecir la cinética del proceso, el contenido final de humedad de los productos agrícolas y los requisitos del proceso de secado sino también el coeficiente de difusividad térmica en capa delgada de hortofrutícolas haciéndose importante en la simulación del secado por microondas [9, 10, 11]. En este estudio se obtuvieron los parámetros cinéticos de los modelos propuestos de secado por microondas y se analizó la influencia de la potencia, la densidad de carga (g/W) y la dimensión de los chips de yuca en las velocidades y tiempos de secado.

Parte Experimental

Obtención y adecuación de la muestra

Se tomaron muestras de yuca (*Manihot esculenta* c.) de la variedad Verónica provenientes de la ciudad de Montería, Córdoba, Colombia. Para la adecuación de las muestras de yuca se cortaron rebanadas de 0,4 cm de espesor con 2, 3 y 4 cm de diámetro. Se tomaron muestras para determinar el contenido inicial de humedad por el método AOAC 14.003/80, cenizas por el método AOAC 14.006/80, proteínas por AOAC 2,087/80 y fibra mediante AOAC 7,065/80[12].

Tratamiento de secado

Se utilizó un horno microondas doméstico de marca Haceb HM-1,1 con una frecuencia de 2450MHz y dimensiones internas de 354x228x373mm. Se tomaron 20, 35 y 50g de muestra, se distribuyeron uniformemente en el plato del microondas y se secaron a 140W, 280W y 560W. Las muestras de yuca se pesaron en una balanza analítica (MettlerPS4000 con exactitud $\pm 0,01$ g) cada 1, 2 y 3 minutos para 560W, 280W y 140W respectivamente.

Cinética de secado

Para la construcción de las curvas de secado se graficó el contenido de humedad del producto en base seca (MS) contra el tiempo. Para determinar el modelo que mejor predice el comportamiento cinético de secado se

utilizaron los modelos de Newton, Page, Page Modificado, Henderson y Pabis, Logarítmico, Thomson, Difusional, Dos términos, Midilli y Kucuk, Modificado de Henderson y Pabis, Dos Términos Exponencial, Verma et al., Ecuación Modificada de Page -II [8]. La razón de humedad (MR) durante el secado fue calculada usando la ecuación 1:

$$MR = (M - M_e)/(M_o - M_e) \quad (1)$$

Donde M : el contenido de humedad en un tiempo específico, M_e : el contenido de humedad de equilibrio y M_o : el contenido inicial de humedad, todas expresadas en g agua/g MS.

Se utilizó el método de regresión no lineal para estimar las constantes de los modelos. La suma de cuadrados del error (SSE) y el coeficiente de determinación (R2) fueron estimados para evaluar la falta de ajuste de los modelos. Valores bajos de SSE y altos de R2 se usaron como criterio para indicar el mejor ajuste del modelo.

Para el cálculo del coeficiente difusivo másico se utilizó el modelo difusional de la solución de la segunda ley de Fick para una geometría de lámina infinita y distribución uniforme de la humedad inicial, según la ecuación 2 [8]:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \quad (2)$$

Donde D_{eff} : el coeficiente efectivo de difusividad de agua (m²/s), t : el tiempo (segundos), L : el semi-espesor de la lámina finita (m) y n : el número de series de la sumatoria. Para calcular la energía de activación se utilizó una modificación de la ecuación de Arrhenius (Ecu. 3) donde existe una correlación entre la D_{eff} y la relación del peso con la potencia de salida de microondas (m/P) en lugar de la temperatura del aire [13].

$$D_{eff} = D_o \cdot \exp\left(-\frac{E_a m}{P}\right) \quad (3)$$

Donde D_o : factor pre-exponencial de Arrhenius (m²/s), E_a : energía de activación (W/g) y m : masa (g).

Diseño experimental

El experimento fue conducido bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 33 correspondiente a la variable potencia con tres niveles (140, 280 y 560W), diámetro del chip (2, 3 y 4 cm), peso de yuca (20, 35 y 50 g); 3 repeticiones para un total de 81 unidades experimentales. Se aplicó el Test de Tukey con un nivel de significación de $p < 0,05$. Se utilizó el programa Statgraphics versión 9,1.

Discusión de Resultados

La composición de los chips de yuca de la variedad verónica presenta una humedad de $56,96 \pm 1,9\%$, cenizas $1,5 \pm 0,3\%$ en base seca, proteínas $2,0 \pm 0,1\%$, fibra $1,0 \pm 0,05\%$, y los carbohidratos conformados principalmente por almidón en un $37,54 \pm 0,2\%$.

Cinética de secado

La potencia, el diámetro de los chips de yuca y su interacción tienen un efecto significativo ($p < 0,05$) en el tiempo de secado. Al aumentar la intensidad de 140W a 560W se reduce el tiempo y aumenta la rapidez de secado (Figura 1), siendo la tecnología de microondas la que permite tiempos de secado más cortos que el secado convectivo y al sol. Resultados similares se obtuvieron al deshidratar espinacas en microondas de 2450MHz con tiempos de 65, 15 y 8min a una potencia del 10, 30 y 50% respectivamente [14]; limón persa por 105min a 140W [15]; secado al vacío de hojas de menta por 13min a 1600W, 10min a 2240W [16]; ajo por 25min a 240W [17].

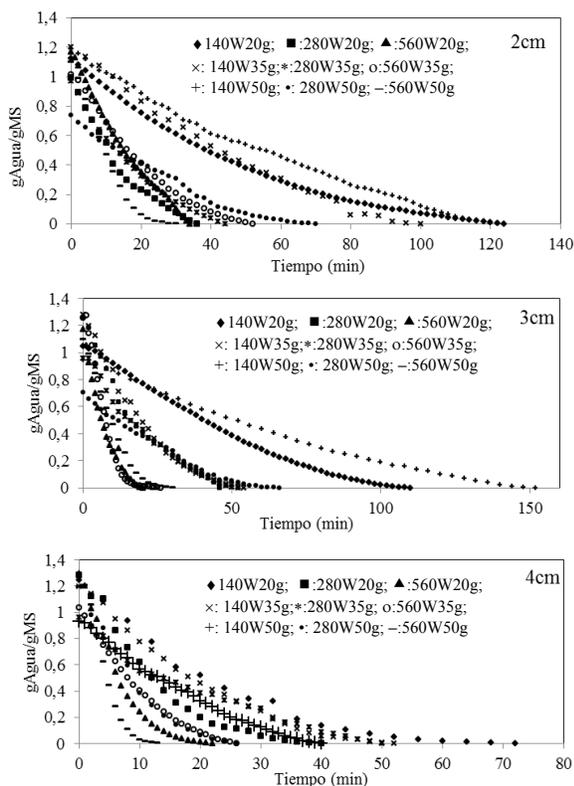


Figura 1. Curvas de rapidez de secado de chips de yuca

Los tiempos de secado obtenidos en este estudio son inferiores a los reportados para productos vegetales como la pulpa de cupuaçu en rodajas a 70°C (7,3h) [18]; pimienta a 65°C (1h y 55min) [19]; papaya a 60°C (5h) [20] y otros [21, 22]; papaya osmodeshidratada a 60°C (10h) [20], cocona a 65°C (6h) [23].

Los resultados indican que la transferencia de masa asociada a la pérdida de agua en los chips de yuca fue más rápida con la mayor potencia en el microondas debido a que genera más calor en la muestra, creando una mayor diferencia de presión de vapor entre el centro y la superficie del producto a causa del calentamiento volumétrico del microondas.

El contenido inicial medio de humedad de los chips de yuca fresca fue de $1,11 \pm 0,2$ g agua /g MS y un peso final de 9,37g, 16,89g y 24,63g para las muestras de 20g, 35g y 50g, respectivamente. La representación de las curvas características de secado muestran que, en general, la pérdida de agua es más rápida cuando las dimensiones del chip son mayores (4cm) y cuando la intensidad de la potencia aumenta (560W); considerando esto, el tiempo de secado total más corto fue en 50g de muestra de 13min para 4cm y 560W y el más largo fue 152min para 3cm y 140W.

En productos secos como los chips de yuca se establece una humedad mínima de 10% y máxima de 12% [24]; por lo tanto, el tiempo tomado para alcanzar un contenido de humedad de $10,12 \pm 0,98\%$ (0,11g Agua/g MS) a la potencia de 560W fue de 18,8min, 33,77min para 280W y 68,33min para 140W. El diámetro de los chips tiene un efecto inverso sobre los tiempos de secado (Figura 2), siendo el tiempo medio de 25,8min a 4cm, 44,22cm a 3cm y 50,88cm a 2cm.

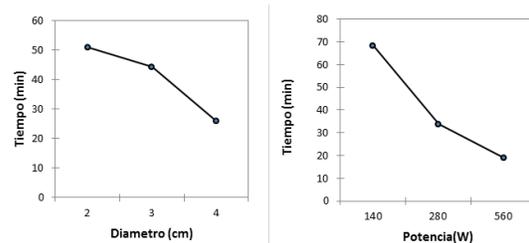


Figura 2. Efecto del diámetro y la potencia en el tiempo de secado

El calentamiento desde el interior del chip y el área superficial favorece la difusión de agua hacia la superficie y su posterior eliminación del producto. Al aumentar la intensidad del tratamiento y el diámetro del chip de yuca aumenta la velocidad de secado; durante el progreso del secado la velocidad se disminuye con el tiempo y la reducción del contenido de humedad. Por lo tanto, en

función de los resultados obtenidos se deduce que la cinética de secado de chips de yuca es dependiente de la rapidez de calentamiento. El rápido aumento de la velocidad es explicado por la alta absorción de la energía del microondas asociada a la disponibilidad de los dipolos de las moléculas de agua, generando calor y aumentando significativamente la temperatura del agua hasta su punto de ebullición, etapa en que la transferencia de masa es dominada por la vaporización. Después de que la velocidad de secado alcanza su máximo nivel, la absorción de energía disminuye por la disminución del contenido de agua, apareciendo el periodo de velocidad decreciente gobernado por la difusión de agua a través del sólido. Similares tendencias fueron observadas en estudios previos [16, 8, 20].

Modelamiento matemático

Los modelos utilizados describen satisfactoriamente las curvas de secado de chips de yuca en todos los tratamientos ($R^2 > 99\%$ y $SSE < 1\%$); sin embargo, el modelo de secado en capa delgada de Midilli y Kucuk presentó la mejor predicción del fenómeno de secado en los chips para los diámetros de 2, 3 y 4cm (Tabla 1). Otras investigaciones sugirieron el modelo de Midilli et al. en secado con microondas a 200W, 400W y 600W de tajadas de manzana [6], en rodajas de tomate [25], en lecho fluidizado de orujo de oliva [26, 27]. Otros modelos que se han ajustado adecuadamente al secado por microondas está el modelo de Page en hojas de menta [16], tomillo [28]; modelo de Vermet en secado de yuca [29]; modelo de Lewis en secado combinado convectivo-microondas de

cubos de remolacha [17]; modelo de Herderson y Pabis secado de yuca al sol [30].

La regresión no lineal usada para estimar los parámetros k , n , a y b del modelo de Midilli y Kucuk con $R^2 > 99,8\%$ y $0,01 < SSE < 0,001$, mostró que el modelo de Midilli y Kucuk es el más adecuado para predecir las características del secado de chips de yuca. De la Tabla 3, se aprecia que el valor de k se incrementa con el aumento de la potencia del microondas, describiendo unas curvas con mayor pendiente indicando una mayor velocidad de secado; de igual manera, las pendientes de las curvas en los tratamientos son mayores a 560W, 280W y menores en 140W. El valor de n encontrado en el modelo es mayor que 1,0 lo que indica que la relación entre MR y el tiempo no sigue una cinética de primer orden.

Cálculo del coeficiente difusivo ($Deff$) y Energía de activación (Ea)

Los valores de la difusividad efectiva de humedad ($Deff$) para diferentes densidades de carga (m/P) están dados en la Tabla 2. Los valores de la difusividad en alimentos oscila en forma general entre 10^{-6} a 10^{-11} m² s⁻¹ [8] y los obtenidos están del orden de 10^{-3} a 10^{-4} m² s⁻¹. En otras investigaciones se reportaron difusividades efectivas de $1,59 \times 10^{-9}$ m² s⁻¹ en yuca con un contenido inicial de humedad de 1,50g agua gMS⁻¹ [30], de $5,612 \times 10^{-9}$ a $1,317 \times 10^{-8}$ m² s⁻¹ en manzanas secadas por convección [31], de $4,60 \times 10^{-6}$ a $7,06 \times 10^{-6}$ m² s⁻¹ en cubos de manzana liofilizados [11] y de $1,0249 \times 10^{-9}$ a $2,16389 \times 10^{-9}$ m² s⁻¹ en chips de yuca variedad Tai [8].

Tabla 1
Parámetros del modelo de Midilli y Kucuk.

Masa	D(cm)	Potencia(W)	k	a	b	n	SSE	R2
20	2	140	1,23	0,994	-0,032	1,090	0,001	1,000
20	2	280	4,75	1,003	-0,086	1,133	0,007	0,996
20	2	560	2,52	1,011	-0,397	0,997	0,004	0,999
35	2	140	1,07	1,004	-0,101	1,129	0,004	0,998
35	2	280	2,74	0,999	-0,187	0,996	0,001	0,999
35	2	560	3,40	1,006	-0,072	1,243	0,000	1,000
50	2	140	0,67	1,006	-0,144	0,909	0,006	0,999
50	2	280	1,971	0,958	-0,105	1,238	0,020	0,994
50	2	560	12,58	0,984	-0,049	1,496	0,002	0,999
20	3	140	1,12	0,995	-0,054	1,311	0,002	1,000
20	3	280	3,28	1,021	-0,071	1,043	0,011	0,995
20	3	560	8,30	1,009	-0,231	1,034	0,008	0,996
35	3	140	1,143	1,000	-0,078	1,177	0,005	0,998
35	3	280	2,41	1,039	-0,170	1,057	0,013	0,995
35	3	560	37,28	1,012	0,001	1,768	0,002	0,999
50	3	140	0,68	1,004	-0,059	1,148	0,001	1,000
50	3	280	2,08	0,958	-0,1152	1,258	0,018	0,994
50	3	560	12,58	0,984	-0,049	1,496	0,002	0,999
20	4	140	3,14	0,998	-0,025	1,175	0,005	0,997
20	4	280	7,86	0,994	-0,005	1,328	0,006	0,997
20	4	560	20,24	0,992	-0,0079	1,393	0,004	0,998
35	4	140	3,22	1,009	-0,100	1,171	0,004	0,999
35	4	280	1,63	1,019	-0,302	0,765	0,011	0,995
35	4	560	7,06	0,998	-0,175	1,171	0,000	1,000
50	4	140	2,84	1,012	-0,270	1,097	0,005	0,999
50	4	280	25,43	1,030	0,0287	1,891	0,0061	0,997
50	4	560	142,3	1,027	0,032	1,981	0,002	0,999

Tabla 2
Relación entre la Difusividad efectiva y la densidad de carga

Potencia (W)	m/P (g/W)	Deff (m2 s-1)	Deff (m2 s-1)
140	0,03571	2,004E-04	
140	0,06250	1,738E-04	2,845E-04
140	0,07143	4,793E-04	
280	0,08929	4,385E-04	
280	0,12500	4,334E-04	6,194E-04
280	0,14286	9,863E-04	
560	0,17857	6,017E-04	
560	0,25000	1,146E-03	1,343E-03
560	0,35714	2,282E-03	

Se observa que el valor *Deff* se incrementa con el aumento de la densidad de carga, esto se explica por el aumento de la energía aprovechada en el calentamiento, lo cual incrementa la actividad de las moléculas de agua conduciendo a la mayor difusividad cuando los chips de yuca son sometidos a una mayor potencia de microondas. La relación lineal (Ecu. 4) entre la difusividad efectiva y la potencia ($R^2 = 0,99$) es similar a la obtenida para sardina ($Deff = (0,0860 - 9,713) \times 10^{-8} \text{ y } R^2 = 0,984$) [7].

$$D_{eff} = 3 \times 10^{-6} P - 8 \times 10^{-5} \quad (4)$$

La dependencia de la *Deff* con la densidad de carga (g/W) fue evaluada usando el modelo exponencial (Ecu. 5) con $R^2 = 0,927$ y un modelo polinómico (Ecu. 6) con $R^2 = 0,928$.

Modelo exponencial

$$D_{eff} = 0,00019 \exp^{6,92 \frac{m}{P}} \quad (5)$$

Modelo polinómico

$$D_{eff} = 0,0002152 + 0,0008255 * \left(\frac{m}{P}\right) + 0,01347 * \left(\frac{m}{P}\right)^2 \quad (6)$$

Estos modelos permite establecer parámetros comparables con otros estudios, donde 0,00019 sería el factor pre-exponencial del modelo de Arrhenius modificado y 6,92 W g⁻¹ la energía de activación (Ea). Este valor es comparativamente inferior a los reportados en sardinas de 11,14 W g⁻¹ [7] y 12,15 W g⁻¹ en manzanas [6]. Los valores de energía de activación son comparables con los valores reportados de 13,6 W/g para hoja de pandanus [9], 16,675 W/g y 24, 222 W/g para granada dulce y amarga, respectivamente [10].

Conclusiones

El calentamiento desde el interior del chip y el área superficial favorece la difusión de agua hacia la superficie y su posterior eliminación del producto. Al aumentar la intensidad del tratamiento por microondas y el diámetro del chip de yuca aumenta la velocidad de secado.

Los modelos de secado considerados pueden representar adecuadamente el comportamiento de secado en chips de yuca, aunque el modelo de Midilli y Kucuk se ajusta mejor que los otros a un nivel de significancia del 5%. Los parámetros *k* y *n* del modelo permiten establecer que la pérdida de agua no sigue una cinética de primer orden.

El valor de la difusividad efectiva se incrementa con el incremento de la energía aprovechada del calentamiento por microondas, lo cual incrementa la actividad de las moléculas de agua conduciendo a la mayor difusividad del agua cuando los chips de yuca son sometidos a una mayor potencia de microondas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Agronet. Sistemas de estadísticas Agropecuarias-SEA, Estadísticas Agroforestales MADR_DANE_GREMIO_1987-2013 - Consolidado Nacional (2013).
- [2] Henao, S. Estudio tecnológico de la utilización de harina de yuca en panificación. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Valle (2004).
- [3] Darvishi, H., Rezaie, A., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G. y Khodaei, J. Study of the drying kinetics of pepper. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, Vol. 13, (2014) 130-138.
- [4] Ordóñez M., Gely M., Pagano A. : Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. Avances en Ciencias e Ingeniería, Vol. 3, No. 3, (2012) 153-171.
- [5] Sarimeseli, A. Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. Energy Convers. Manag., Vol. 52, (2011) 1449-1453.
- [6] Zarein, M., Hashem, S. y Ghobadian, B. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, Vol. 14, No. 1 (2015) 41-47.
- [7] Darvishi, H., Azadbakht, M., Rezaeiasl, A. y Farhang, A. Drying characteristics of sardine fish dried with microwave heating. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, Vol. 12, (2013) 121-127.

- [8] Torregroza, A., Montes, E., Avila, A. y Remolina, J. Modelado de las cinéticas de secado de tres variedades de yuca industrial. *DYNA*, Vol. 81, No. 186 (2014) 184-192.
- [9] Rayaguru, K., Routray, W. Microwave drying kinetics and quality characteristics of aromatic *Pandanus amaryllifolius* leaves. *Int. Food Res. J.*, Vol. 18, No. 3 (2011) 1035-1042.
- [10] Minaei, S., Motevali, A., Ahmadi, E., Azizi, M. Mathematical models of drying pomegranate arils in vacuum and microwave dryers. *J. Agri. Sci. Technol.*, Vol. 14, (2012) 311-325.
- [11] Kahyaoglu, L., Sahin, S. y Sumnu, G. Spouted bed and microwave-assisted spouted bed drying of parboiled wheat. *Food and Bioproducts Processing*, Vol. 90, No. 2 (2012) 301-308.
- [12] Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Official methods 925.09: Moisture in cassava – air oven methods: Official methods of analysis of AOAC International (2005).
- [13] Ozbek, B. y G. Dadali, Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *J. Food Eng.*, Vol. 83, (2007) 541-549.
- [14] Mackeprang, M., Paola, C. y Campañone, L. Estudio experimental de la deshidratación de espinacas empleando microondas y energía solar. II Reunión Interdisciplinaria de Tecnología y Procesos Químicos. Huerta Grande – Córdoba – Argentina (2010).
- [15] Badillo, M. Estudio comparativo del potencial nutritivo del limón persa (*Citrus laifolia tanaka*) deshidratado en secador de bandejas y en microondas. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Escuela de bioquímica y farmacia. Riobamba-Ecuador (2011).
- [16] Therdthai, N. y Zhou, W. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *Journal of Food Engineering*, Vol. 91, (2009) 482-489.
- [17] Figiel, A. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering*, Vol. 98, (2010) 461-470.
- [18] Giraldo, A.; Arévalo, A.; Ferreira, A.; Ferreira, P, Valdes, J.; De Menezes, M. Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, Vol. 30, No. 1 (2010) 179-182.
- [19] Reis, R., Barbosa, L., Lima, M., Reis, J., Devilla, I. y Ascheri, D. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 15, No. 4 (2011) 347-353.
- [20] Fernández, D., Muñoz S., García A. Cinética de secado de fruta bomba (*Carica papaya* L., cv. Maradol Roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 24, No. 1 (2015) 22-28.
- [21] Kituu, G., Shitanda, D., Kanali, C., Mailutha, J., Njoroge, C., Wainaina, J., Silayo, V. Thin layer drying model for simulating the drying of Tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) in a solar tunnel dryer. *J. Food Eng.*, Vol. 98, (2010) 325-331.
- [22] Sobukola, O. y Olatunde, S. Effect of salting techniques on salt uptake and drying kinetics of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Food Bioprod. Process.* (2010).
- [23] Gomes, L., Nascimento, F., Torregroza, A. y Zousa J. 2014. Efecto de la deshidratación osmótica en el secado y en la aceptabilidad de cocona (*Solanum sessiliflorum* dunal). *Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, Vol. 67, No. 2, (2014) 332-334.
- [24] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación NTC 2716. Frutas, legumbres y hortalizas. Yuca seca para consumo humano. Bogotá-Colombia (2003).
- [25] Arslan, D. y Ozcan, M. Drying of tomato slices: changes in drying kinetics, mineral contents, antioxidant activity and color parameters. *CyTA – Journal of Food*, Vol. 3, No. 9 (2011a) 229-236.
- [26] Arslan, D. y Ozcan, M. Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content, and color characteristics of savory leaves. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 5, No. 3 (2011b) 983-991.
- [27] Meziane, S. Drying kinetics of olive pomace in a fluidized bed dryer. *Journal of Energy Conversion and Management*, Vol. 52, (2011) 1644-1649.
- [28] Da Rocha, R., Melo, E., Corbín, J., Berbert, P., Donzeles, S. y Tabar, J. Cinética del secado de tomillo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 16, No. 6 (2012) 675-683.
- [29] Pérez, R. y Hoyos, P.: Evaluación del efecto de secado en horno microondas sobre la rehidratación y cambio de color en chips de yuca (*Manihot esculenta crantz*). Trabajo de grado. Universidad Pontificia Bolivariana, Ingeniería Agroindustrial, Montería (2012).
- [30] Koua, K., Fassinou, W., Gbaha, P. y Toure, S. Mathematical modelling of the thin layer solar drying of banana, mango and cassava. *Energy*, Vol. 34, No. 10 (2009) 1594-1602.
- [31] Vijaya Venkata Raman, S., Iniyan, S. y Goic, R. A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 5 (2012) 2652-2670.

Recibido el 18 de julio de 2015
En forma revisada el 18 de julio de 2016



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 39. N°3, Diciembre 2016_____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Diciembre de 2016, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve