

DOI:10.18684/BSAA(13)22-29

MODELADO DE LA CINÉTICA DE SECADO DE MANGO PRE-TRATADAS CON DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y MICROONDAS

MODELING OF THE KINETICS OF DRYING OF MANGO PRETREATED WITH OSMOTIC DEHYDRATION AND MICROWAVE

MODELAGEM DA CINÉTICA DE SECAGEM DE MANGA PRÉ-TRATADOS COM MICROONDAS E DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

MARIBEL GARCÍA-PATERNINA¹, ARMANDO ALVIS-BERMUDEZ², CARLOS GARCÍA-MOGOLLON³

RESUMEN

La aplicación de tecnologías complementarias como la deshidratación osmótica y microondas como pre-tratamientos al secado convencional contribuye al desarrollo de nuevos productos y favorece la disminución de los cambios físico-químicos y organolépticos en el mango. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la deshidratación osmótica con una solución a 65°Brix de 37 a 40°C por 60 min, tratamiento con microondas a 560 W por 7 min y combinado como pre-tratamientos al secado de hojuelas de mango a 70°C en una estufa tipo bandeja y al sol. Las muestras de mango con 11 a 14°Brix y humedad del 80% fueron dimensionadas a 1x1x0,4 cm. La pérdida de peso y el tiempo de secado en los pre-tratados presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), siendo la mayor pérdida de peso de 66,0% en el pre-tratamiento combinado. El modelo logístico ($R^2 > 0,99$) se ajustó para el secado sin pre-tratamiento y el modelo de Vermet et al. ($R^2 > 0,99$) para los pre-tratados. La D_{eff} para microondas y secado en estufa fue mayor. Las hojuelas de mango pre-tratadas con deshidratación osmótica fueron las que mejor conservaron la apariencia de las hojuelas de mango.

Recibido para evaluación: 22 de Febrero de 2014. **Aprobado para publicación:** 29 de mayo de 2015.

- 1 Universidad de Córdoba. Ingeniero de Alimentos. Montería, Colombia.
- 2 Universidad de Córdoba, Facultad de Ingenierías, Grupo de Investigación Procesos y Agroindustria de Vegetales. Ph.D. en Ingeniería. Montería, Colombia.
- 3 Universidad de Sucre, Facultad de Ingenierías, Grupo PADES. M.Sc. Ciencias Agroalimentarias. Montería, Colombia.

Correspondencia: aalvis2@hotmail.com

ABSTRACT

The implementation of complementary technologies such as osmotic dehydration and microwave as pre-treatments to the conventional drying process contributes to the development of new products and favors the decline of the physicochemical changes in the organoleptic and mango. The objective of this study was to evaluate the effect of osmotic dehydration with a solution at 65°Brix of 37 to 40°C for 60 min, treatment with microwave at 560 W for 7 min and combined as pre-treatments to drying flakes of mango to 70°C in an oven tray type and the sun. The samples of mango with 11 to 14°Brix and humidity 80% were sized to 1x1x0,4 cm. The weight loss and the drying time in the pre-treated showed significant differences ($p < 0,05$), still the highest weight loss of 66,0% in the pre-treatment combined. The logistic model ($R^2 > 0,99$) was adjusted for drying without pre-treatment and the model of Vermet et al. ($R^2 > 0,99$) for the pre-treated. The D_{eff} for microwave and drying in an oven was higher. The flakes of mango pre-treated with osmotic dehydration were the best preserved the appearance of the flakes of mango.

RESUMO

A aplicação de tecnologias complementares, tais como a desidratção osmótica e microondas como pré-tratamento para a secagem convencional contribui para o desenvolvimento de novos produtos e ajuda a reduzir a alterações organolépticas no punho física, química e. O objectivo foi o de avaliar o efeito de desidratção osmótica com uma solução a 65°Brix de 37-40°C durante 60 min, o tratamento por microondas a 560 W durante 7 min e combinados como um pré-tratamento de secagem flocos de manga a 70°C num tabuleiro de forno e o tipo de sol. Amostras do punho 11 a 14 ° Brix e 80% de umidade foram dimensionados para 1x1x0,4 cm. A perda de peso e o tempo de secagem no pré-tratado mostrou diferenças significativas ($p < 0,05$), a maior perda de peso de 66,0% no pré-tratamento combinado. O modelo logístico ($R^2 > 0,99$) foi ajustada para a secagem sem pré-tratamento e modelo Vermet et al. ($R^2 > 0,99$) para o pré-tratada. O forno de microondas D_{eff} e secagem em estufa foi maior. Flocos pré-tratados com alça osmótica desidratção foram o melhor preservada a aparência de flocos de manusear.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de deshidratación convencionales tienen el inconveniente de someter el producto alimenticio a altas temperaturas que alteran las propiedades organolépticas, nutricionales y reduce el potencial antioxidante que tiene el mango [1]. Una alternativa es la aplicación de un pre-tratamiento como la deshidratación osmótica o la tecnología por microondas que elimine la mayor cantidad de agua previa al secado; la primera es un método no térmico de deshidratación mediante el cual se logra obtener productos de humedad intermedia con muy buena calidad organoléptica y la segunda es una tecnología cuyo mecanismo de calentamiento se da desde el centro del producto a la superficie.

PALABRAS CLAVE:

Tommy Atkins, Osmodeshidratación, Tecnología no térmica, Secado complementario, Difusividad efectiva.

KEYWORDS:

Tommy Atkins, Osmotic dehydration, No thermal technology, Complementary drying, Effective diffusivity.

PALAVRAS-CHAVE:

Tommy Atkins, Desidratção osmótica, Nenhuma tecnologia térmica, Secagem adicional, Difusividade efetiva.

Estudios recientes aplican tecnologías emergentes como la ventana refractaria para deshidratar rebanadas de mango [2], la aplicación de una potencia de 1000 W en microondas a tres diferentes geometrías de rebanadas de mango [3] y la deshidratación osmótica como pre-tratamiento al secado con temperaturas de 60 y 70°C han evaluado la influencia del proceso en la cinética de secado, el tiempo del tratamiento, el efecto sobre la pérdida de agua, nutrimentos y color [4].

La deshidratación osmótica ha sido usada como pre-tratamiento para la remoción parcial de agua en frutas frescas y vegetales; además, porque durante el proceso reduce el consumo de energía y mejora la calidad del producto [5]. Para una buena conservación de la materia prima y del producto final en hojuelas de mango de la variedad cv. Tommy Atkins, se evaluó la influencia de los pre-tratamientos sobre la velocidad de secado y la preferencia por los consumidores del producto deshidratado. La aplicación de pre-tratamientos con tecnologías complementarias como la deshidratación osmótica y microondas contribuye al desarrollo de nuevos productos, favoreciendo la disminución de los cambios adversos que ocurren durante el uso de métodos convencionales [4], Secado osmo-deshidrocongelación [6], osmo-convectivo [7, 8] y liofilización [9]. El mango por su color amarillo brillante, flavor característico y valores nutricionales, es excelente para la producción de chips [10].

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del pre-tratamiento aplicado por microondas, deshidratación osmótica y la combinación de los anteriores sobre la cinética de secado en horno, al sol y la percepción de los consumidores de las características de la hojuela de mango.

MÉTODO

Adecuación de la muestra

Los mangos (cv. *Tommy Atkins*) utilizados como materia prima se seleccionaron con un índice de madurez de 0,125,11 a 14°Brix y humedad de $80 \pm 1\%$ los cuales se sometieron a operaciones de lavado, pelado, troceado para obtener las hojuelas de una dimensión de 1 cm x 1 cm x 0,4 cm.

En la determinación de los sólidos solubles se utilizó una lectura refractométrica (método AOAC 932.12/90) [11]. La acidez se midió por el método de titulación

potenciométrica (método AOAC 942.05/90) [11]. El índice de madurez se calculó empleando la relación de sólidos solubles/acidez.

Pre-tratamiento de secado

Deshidratación osmótica. Se utilizó una solución de sacarosa de 65°Brix por 60 min y temperatura ambiente de 37 a 40°C. Las hojuelas de mango (100 g) se dispusieron en bolsas plásticas para posteriormente sumergirlas en soluciones osmótica con relación peso muestra: volumen solución 1:5. Una vez culminado el tiempo del tratamiento, la muestra deshidratada se escurrió por 15 min en un colador para eliminar el exceso de solución osmótica.

Deshidratación por microondas. Se utilizó un horno microondas doméstico de marca Haceb HM-1.1 con una frecuencia de 2450 MHz y dimensiones internas de 354 mm x 228 mm x 373 mm. Se tomaron 50 g de muestra y se distribuyeron uniformemente en el plato del microondas a una potencia de 560 W por 7 min. La masa de las muestras durante el secado se obtuvo pesando en una balanza analítica (Mettler PS4000 con exactitud $\pm 0,01$ g).

Combinado. Se aplicó el pre-tratamiento de deshidratación osmótica seguido de microondas, acorde a los procedimientos preliminares.

Tratamiento de secado

Secado al sol. Se utilizaron bandejas de 50 g de muestra y se expusieron a la radiación solar de 9:00 a las 15:00 hasta peso constante, en la sede Berastegui ubicada en el corregimiento de Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro, Departamento de Córdoba, Colombia.

Secado por convección. Se usó un horno convección marca Technicook modelo MINICONV con dimensiones 580 mm de ancho, 630 mm de profundidad, 435 mm de alto, tipo bandeja. La temperatura de secado fue de 70°C.

Determinación cinética de secado

Las curvas de secado se realizaron registrando la pérdida de peso de la muestra cada 10 min en las primeras 2 h de proceso y luego cada 30 min hasta peso constante. Los pesos obtenidos se convierten en términos de humedad libre empleando la ecuación 1:

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: W es el peso del sólido húmedo (kg totales de agua más sólido seco), W_s es el peso del sólido seco (g MS), y X_t es la relación entre el peso del agua y el peso del sólido seco a un determinado tiempo (g de agua/g de sólido seco).

Con el fin de determinar el modelo que mejor describe el comportamiento cinético de secado de mango en cada método se utilizaron los modelos de Newton, Page, Page Modificado, Henderson y Pabis, Logaritmico, Thomson, Difusional, Dos términos, Midilli y Kucuk, Modificado de Henderson y Pabis, Two Term Exponential, Verma et al., Modified Page Equation-II y se seleccionó el que mejor se ajustó a los datos experimentales. La razón de humedad (MR) durante el secado fue calculada usando la ecuación 2:

$$MR = (M - M_e) / (M_o - M_e) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde M es el contenido de humedad en un tiempo específico, M_e es el contenido de humedad de equilibrio y M_o es 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 (R^2) serán estimados para evaluar la falta de ajuste de los modelos. Bajos valores de SSE y altos de R^2 se usarán como criterio para indicar el alto ajuste del modelo. Para el cálculo del coeficiente difusivo se utilizó el modelo difusional de la solución de la segunda ley de Fick para una geometría de lámina infinita [12] y distribución uniforme de la humedad inicial de donde se toma solo el primer término de la ecuación 3:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde D_{eff} es el coeficiente efectivo de difusividad de agua (m^2/s); t es el tiempo (segundos), L es la longitud característica de la lámina finita (m) y n es el número de series de la sumatoria.

Evaluación sensorial

Las muestras de mango deshidratado se evaluaron mediante un panel sensorial integrado por 50 consumidores, mediante una prueba de ordenamiento simple de Friedman, con una valoración de 1 a 8, siendo 1 la de menor preferencia y 8 la de mayor preferencia.

Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 4×2 correspondiente a la variable categórica pre-tratamiento con cuatro niveles (DO: deshidratación osmótica; MW: microondas, SPT: sin pre-tratamiento y DOMW: combinado) y el Tratamiento de secado al sol y convectivo (E); 3 repeticiones para un total de 24 unidades experimentales. Los datos fueron analizados por el programa Statgraphics Centurion XVI.

RESULTADOS

Cinética del secado de las hojuelas de mango

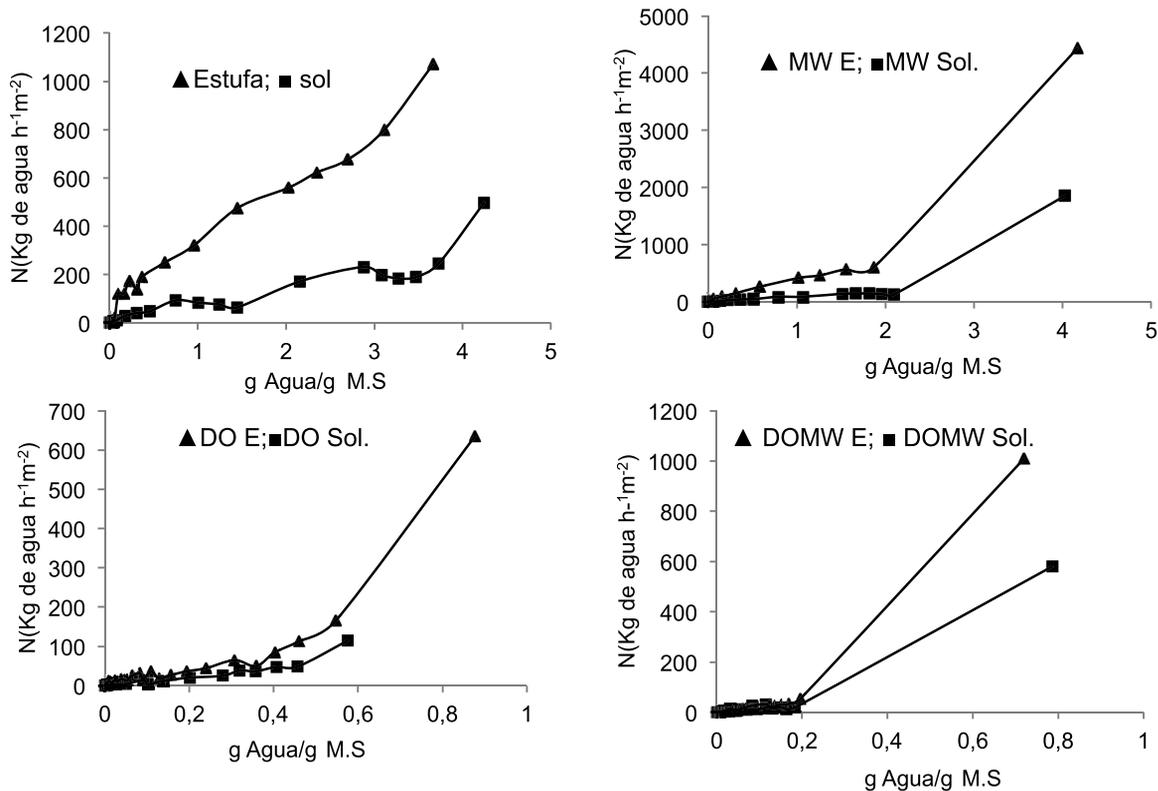
Los parámetros físico químicos del mango deshidratado fueron $12,3 \pm 0,7^\circ \text{Brix}$ y $0,69 \pm 0,1\%$ acidez expresada como ácido cítrico, correspondiendo a un grado 4 de madurez para el mango variedad *Tommy Atkins* [13]. En el Cuadro 1, las velocidades de secado iniciales promedio más altas se generan cuando se aplica un pre-tratamiento de microondas y se secan los chips en horno y al sol, siendo la primera más alta.

La velocidad de secado disminuyó al aplicar el pre-tratamiento de DO, esto puede explicarse por la presencia de una capa superficial de células colapsadas por efecto del tratamiento osmótico en la muestra, que contribuirá a aumentar la resistencia al transporte de masa cerca de la interface de los experimentos de secado. Esta resistencia también puede verse afectada por la entrada de solutos principalmente en los espacios intercelulares [14]. En términos generales, dependiendo del método de secado la velocidad varía (Figura 1); por lo tanto, en función de los datos obtenidos se deduce que la cinética de secado de las hojuelas de mango es dependiente del método de secado empleado y del pre-tratamiento que se le realice a las muestras.

En todos los casos se puede decir que las velocidades de secado iniciales promedio son mayores cuando se utiliza el método de secado convencional

Cuadro 1. Valores de velocidad inicial de secado.

	Horno	Sol
	(N) Kg de agua/h.m	
Sin pre-tratamiento	1071,52	496,66
Microondas	4440,11	1857,39
Deshidratación osmótica	634,19	113,93
Combinada (DOMW)	1008,86	579,82

Figura 1. Velocidad de secado para hojuelas de mangos.

(horno) que cuando las muestras son secadas al sol, esto debido a que la temperatura de secado en estufa es mayor que la del sol.

En las curvas de velocidad de secado se presenta una ausencia de los periodos de velocidad constante y un comportamiento muy variable en la zona de velocidad decreciente. Una primera fase donde el descenso de la humedad es parcialmente proporcional a la disminución de la velocidad de secado, observándose un endurecimiento superficial del sólido provocado por la desecación de la cara superior del producto.

La segunda fase donde la pérdida de humedad es mucho más lenta que la de la fase anterior, lo que indica que el agua tiene gran dificultad para migrar hacia la superficie. Esta alta variabilidad implicó aumentos y disminuciones abruptas de la velocidad de secado, atribuibles a la escasa transferencia de calor y masa en algunos lapsos durante el secado, debido a la forma aplanada de las hojuelas. También se puede decir que la ausencia del periodo constante se debe a la aplicación de los pre-tratamientos, en donde el producto tuvo una pérdida de humedad considerable, pre-

sentando estos dos periodos ausentes en las gráficas de velocidad de secado. Estudios similares mostraron este comportamiento cuando se evaluó el efecto de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación [15,16].

Modelos matemáticos

El modelo logarítmico describe satisfactoriamente las curvas de secado de los chips de mango cuando no se les realiza ningún pre-tratamiento a las muestras con valores de R^2 superiores a 0,99 y la suma de cuadrados de error inferiores al 1% para el secado en estufa y al sol. En el Cuadro 2 se observan los parámetros del modelo logarítmico para el secado en estufa y al sol sin realizar pre-tratamientos, el valor del parámetro k es mayor para el secado en estufa presentando un valor de 1,46, describiendo unas curvas con mayor pendiente que indica una mayor velocidad de secado; mientras que el valor de k para el secado al sol es de 0,46.

Se estudió la cinética de secado en capa delgada en hojas y tallos de perejil a través del método conven-

Cuadro 2. Valores de los parámetros del modelo Logarítmico.

Secado	Horno			Sol		
	K(h ⁻¹)	a	c	K(h ⁻¹)	a	c
Parámetros						
Sin pre-tratamiento	1,46	1,16	-0,16	0,47	1,02	-0,04
Modelo	$MR = a[Exp(-Kt)] + c$					

a, c= constantes del modelo.

cional y aplicando doce modelos matemáticos encontró que el modelo de Verma et al. y Logarítmico se ajustan muy bien a sus datos experimentales [17]; sin embargo, el modelo que mejor ajuste presentó fue el de Midilli and Kucuk; los modelos de Page y Logarítmico en hojuelas (2,8 mm espesor) de mango secadas a 65°C [18]; en otros productos hortofrutícos los modelos de Page y Silva et allí describieron la cinética en capa delgada de banano [19]; secado de limón ajustando al modelo logarítmico [20]; Midilli and Kucuk mostro mejor ajuste en secado con microondas de pimienta verde [21].

Cuando se le aplican pre-tratamientos a las muestras el modelo que mejor describe la cinética de secado es el modelo de Verma et al. con valores de R² superiores a 0,99 y la suma de cuadrados de error inferiores al 1% para el secado en estufa y al sol. En el Cuadro 3 se muestran los valores de los parámetros del modelo de Verma et al. para el secado en estufa y sol al aplicar pre-tratamientos en microondas, deshidratación osmótica y la combinación de ambos.

Difusividad efectiva

Los valores de difusividad (Cuadro 4) fueron mayores para el secado en estufa en comparación a los del sol, lo que demuestra una disminución de las resistencias internas del sólido cuando se utiliza este método de secado, una explicación de ese aumento se puede deber a la temperatura que se utiliza en el secado en estufa, la cual es mayor que las temperaturas que se alcanzan cuando se seca al sol.

Por su parte podemos ver que el valor de la difusividad mayor fue el del secado en estufa cuando se aplica el pre-tratamiento por microondas, el cual representa un valor de 1,33x10⁻¹⁰ m²/s y el menor valor está representado por el secado al sol cuando no se aplica ningún pretratamiento, valor que corresponde a 3,69x10⁻¹⁰ m²/s. Los valores de difusividad se encuentran comprendido en valores desde 1,33x10⁻⁸ m²/s hasta 3,69x10⁻¹⁰ m²/s, valores reportados de 3,19 x10⁻¹⁰

Cuadro 3. Valores de los parámetros del modelo de Verma et al.

S	Pt	Spt	MW	DO	MWDO
Horno	K(h ⁻¹)	1,49	339,9	28,86	42,44
	g	0,04	2,91	1,38	1,09
	a	1,17	0,4	0,34	0,72
Sol	K(h ⁻¹)	0,71	161,68	0,68	178,79
	g	0,71	0,66	12,33	1,19
	a	278,76	0,38	0,87	0,68
Modelo	$MR = a[Exp(-Kt)] + (1-a)[Exp(-gt)]$				

S= Secado; Pt= Pre-tratamiento; Spt= Sin pre-tratamiento; MW= Microondas; DO= Deshidratación Osmótica; MWDO=combinado; a, g = Constantes del modelo.

m²/s en mango [11], hojuelas de mango (21x70x150 mm) con aire caliente a 70°C para 1,714x10⁻¹⁰ m²/s [22], lonjas de mango de 1 y 2 mm de grueso, secando con ventana refractaria 4,4x10⁻¹⁰ m²/s y 1,56x10⁻¹⁰ m²/s respectivamente [2]; mango (60x30 mm) pretratado con ácido ascórbico 2,22x10⁻⁹ m²/s [23], judía con cubierta externa [24], guayaba secada por aire caliente 1,5x10⁻⁹ m²/s y DO (70°Brix) más aire caliente 2,00x10⁻⁹ m²/s [25].

Evaluación sensorial

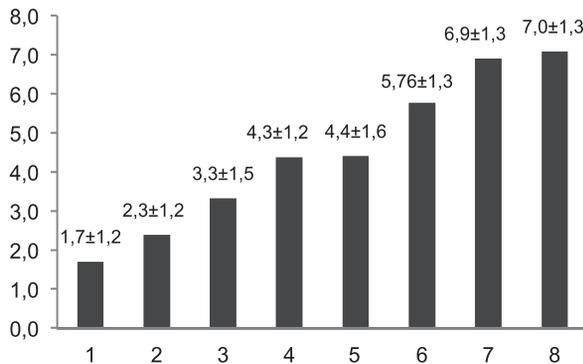
La evaluación general de la apariencia de las hojuelas indica que existe una diferencia estadísticamente significativa (p<0,05) entre las medias de los 8 tratamientos cuando se aplicó el test de ordenamiento de Friedman. Acorde a los resultados el tratamiento que mejor preferencia por los consumidores (Figura 2) tuvo, fue el DOE y el menor fue MWSol.

El criterio de los consumidores al considerar que la muestra tratada MWSol es la de menor aceptación está en concordancia con el decremento del color amarillo

Cuadro 4. Valores de difusividad efectiva.

Tratamientos	Horno	Sol
	D _{eff} (m ² /s)	
Sin pre-tratamiento	7,95x10 ⁻⁰⁹	3,69 x10 ⁻¹⁰
Microondas	1,34x10 ⁻⁰⁸	5,09 x10 ⁻¹⁰
Deshidratación osmótica	3,24 x10 ⁻⁰⁹	5,17 x10 ⁻¹⁰
Combinada (MW+DO)	1,79 x10 ⁻⁰⁹	1,91 x10 ⁻⁰⁹

Figura 2. Evaluación sensorial de ordenamiento del mango deshidratado.



1: MWSol; 2: MWE; 3: DOMWE; 4: E; 5: DOMWSol; 6: Sol; 7: DOSol; 8: DOE

brillante característico del mango fresco, lo que indica que el consumidor al elegir siempre compara con el producto fresco. Esto es debido a la pérdida de los carotenoides durante el secado, los cuales constituyen el principal componente del mango maduro fresco. Se compararon diferentes métodos de secado en chips de mango obteniendo menor oscurecimiento en tratamiento con menor temperatura (30°C) combinado con microondas al vacío [26]. En contraste los tratamientos con DO tuvieron la mayor preferencia del consumidor porque conservaron la apariencia cercana al color brillante del mango fresco. Existe una correlación positiva entre la preferencia del consumidor y el color de láminas de mango DO [27].

La apariencia es el atributo que más causa impacto a la hora de escoger por parte del consumidor, siendo el color la característica más relevante, constituyéndose en el primer criterio para su aceptación o rechazo. El color está relacionado con la calidad, el índice de madurez y el efecto del proceso de deshidratación. El consumidor espera un determinado color para cada alimento y cualquier alteración en éste parámetro puede influir en su aceptabilidad [28].

CONCLUSIONES

Los pre-tratamientos de deshidratación osmótica, microondas y combinado extrajeron un alto porcentaje de humedad en las hojuelas reduciendo los tiempos de secado al sol y en horno. Es el pre-tratamiento combinado el que más retiró agua y redujo los tiempos de secado; sin embargo, el pretratamiento de deshidratación

osmótica fue el que mejor mantuvo las características de apariencia de las hojuelas de mango deshidratadas.

El proceso de secado Microondas - Sol fue el de mayor decremento de los parámetros de color, traduciéndose en el tratamiento que más demerito las características de las hojuelas de mango respecto al mango fresco. Los tratamientos con deshidratación osmótica fueron los que mejor conservaron la apariencia de las hojuelas de mango.

REFERENCIAS

- [1] ZULUAGA J., CORTES, M. y RODRÍGUEZ, E. Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 25(4), 2010, p.127–135.
- [2] OCHOA, C., QUINTERO, P., AYALA, A. and ORTIZ, M. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window Technique. *Journal of Food engineering*, 109, 2012, p. 69–75.
- [3] VILLALPANDO, J., HERRERA, E., AMAYA-DELGADO, L., GODOY, M., MATEOS, J. and RODRÍGUEZ, S. Effect of Complementary Microwave Drying on Three Shapes of Mango Slices. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(2), 2011, p. 281-290.
- [4] GARCÍA, A., MUÑIZ, S., HERNÁNDEZ, A., MARIO, L. y FERNÁNDEZ, D. Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena *lisa*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1), 2013, p. 62-69.
- [5] WANG, R., ZHANG, M. and MUJUMDAR, A. Effect of osmotic dehydration on microwave freeze-drying characteristics and quality of potato chips. *Drying Technology*, 28(6), 2010, p. 798-806.
- [6] GOULA, A. and LAZARIDES, H. Modeling of mass and heat transfer during combined processes of osmotic dehydration and freezing (Osmo-Dehydro-Freezing). *Chemical Engineering Science*, 82, 2012, p. 52-61.
- [7] KOTOVICZ, V., ELLENDERSEN, L., CLARINDO, M. and MASSON, M. Influence of process conditions on the kinetics of the osmotic dehydration of yacon (*Polymnia sonchifolia*) in fructose solution. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 2014, p. 1385–1397.
- [8] PERUSSELLO, C., KUMAR, C., CASTILHOS, F. and KARIM, M. Heat and mass transfer modeling

- of the osmo-convective drying of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). Applied Thermal Engineering, 63, 2014, p.23–32.
- [9] BERNSTEIN, A. and NOREÑA, C. Study of thermodynamic, structural, and quality properties of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) during drying. Food Bioprocess Technology, 7, 2014, p. 148–160.
- [10] ZOU, K., JIANWEN, T., HUANG, L., XINWEI, D. and BAOYAO, W. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. Food Science and Technology, 51, 2013, p. 253-259.
- [11] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC). Official methods of analysis of the AOAC international. 13th ed. Washington D.C. (USA): Official Methods of Analysis, Section 954.10, 1993.
- [12] OCORO, M.U. y AYALA, A.A. Evaluación de la técnica de ventana de refractancia en el secado de puré de papaya (*carica papaya l.*). Vitae, 19(1), 2012, p. S72-S74.
- [13] GARCÍA, S., SANDOVAL, A., FORERO, F. y SALAMANCA, G. Atributos de calidad del mango criollo para la agroindustria. Espinal (Colombia): Boletín técnico, Centro de Investigación Nat Alma, 2009.
- [14] SOGI, D., SIDDIQ, M. and DOLAN, K. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. LWT - Food Science and Technology, 62(1), 2015, p. 564-568.
- [15] SILES, J., GONZALEZ-TELLO, P., MARTÍN, M. and MARTÍN, A. Kinetics of alfalfa drying: Simultaneous Modelling of moisture content and temperature. Biosystems engineering, 129, 2015, p. 185-196.
- [16] VIJAYAVENKATARAMAN, S., INIYAN, S. and GOIC, R. A review of solar drying technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 2012, p. 2652–2670.
- [17] LEMA, A., PONTIN, M., SANMARTINO, A., ZILLETTI, M. y MARTINELLO, M. Características del proceso de secado en capa delgada del perejil. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 11(8), 2009, p. 75-82.
- [18] GOYAL, R.K., KINGSLEY, A.R.P., MANIKANTAN, M.R. and LLYAS, S.M. Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. Biosystems Engineering, 95(1), 2006, p. 43–49.
- [19] DA SILVA, W., SILVA, C., GAMA, F. and PALMEIRA, J. Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, (13), 2014, p.67–74.
- [20] PUENTE, L., ECHAGARAY, E., CASTRO, E. y DI SCALA, K. Aplicación de modelos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón. Revista Dyna, 80(181), 2013, p. 91-97.
- [21] DARVISHI, H., REZAEI, A., ASGHARI, A., AZADBAKHT, M., NAJAFI, G. and KHODAEI, J. Study of the drying kinetics of pepper. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13, 2014, p. 130–138.
- [22] JANJAI, S., LAMLERTA, N., INTAWEE, P., MAHA-YOTHEE, B., HAEWSUNGCHARERN, M., BALA, B. and MULLER, J. Finite element simulation of drying of mango. Biosystems Engineering, 99, 2008, p. 523 – 531.
- [23] ABANO, E., SAM-AMOAH, L., OWUSU, J. and ENGMANN, F. Effects of ascorbic acid, salt, lemon juice, and honey on drying kinetics and sensory characteristic of dried mango. Croatian Journal of Food Science and Technology, 5(1), 2013, p. 1-10.
- [24] DELGADO, T., PEREIRA, J., BAPTISTA, P., CASAL, S. and RAMALHOSA, E. Shell's influence on drying kinetics, color and volumetric shrinkage of *Castanea sativa* Mill. Fruits. Food Research International, 55, 2014, p. 426–435.
- [25] KEK, S., CHIN, N. and YUSOF, Y. Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. Food and Bioprocess Processing, 91, 2013, p. 495–506
- [26] CHONG, C.H., LAW, C.L., FIGIEL, A., WOJDYŁO, A. and OZIEMBŁOWSKI, M. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. Food Chemistry, 141(4), 2013, p. 3889-3896.
- [27] GOMÉZ, R. Sensory evaluation of mango sheets (*Manguifera indica* L. cv. *Keitt*) fortified with calcium chloride by means of pulsed vacuum osmotic dehydration. Revista venezolana de ciencia y tecnología en alimentos, 4(2), 2013, p. 157-169.
- [28] LEE, H. and YUN, Z. Consumer's perceptions of organic food attributes and cognitive and affective attitudes as determinants of their purchase intentions toward organic food. Food Quality and Preference, 39, 2015, p. 259–267.