

Cinética de la deshidratación y control de la oxidación en manzana *Granny smith*, mediante la aplicación de diferentes métodos de secado

Drying kinetics and oxidation control in *Granny smith* apples, through different drying methods

Valencia C. S. Y.¹; Rodríguez H. L. F.¹ y Giraldo P. G. A.^{III}

Resumen. El secado prolonga la vida útil de los alimentos, conservando su valor nutritivo. En este trabajo se deshidrataron láminas de manzana de 2 mm de grosor y 6,6 cm de diámetro, por diferentes métodos como son: convectivo, convectivo-vacío, convectivo-microondas y liofilización, para determinar la cinética que ofrezca el mejor control a la oxidación y el *chip* con textura adecuada (*crocancia*). La oxidación es causada por la actividad de la polifenoloxidasas (E.C.1.10.3.1) que se encuentra localizada en el centro de la fruta y en la proximidad a la cáscara; para evitar este fenómeno, se retiró la parte central antes de laminar la manzana; las láminas que se deshidrataron por secado convectivo a 40°C, necesitaron aproximadamente 180 minutos hasta peso constante, con valores de ($\Delta E = 5,542 \pm 0,363$), textura ($5,759 \pm 0,198$ kg-f) y actividad de agua ($0,525 \pm 0,004$). Las deshidratadas a 60°C requirieron aproximadamente 60 minutos hasta peso constante, presentando valores de ($\Delta E = 5,279 \pm 0,989$) textura ($3,570 \pm 0,593$ kg-f) y actividad de agua ($0,418 \pm 0,009$).

Palabras clave: Convectivo, Microondas, Liofilización, Vacío, Polifenoloxidasas (PPO).

Abstract. Drying prolongs food life span keeping its nutritional value. In this study, some apple slices, with a thickness of 2 mm and a diameter of 6.6 cm, were dehydrat-

I Estudiante Maestría en Química, Universidad del Quindío. sandra5yol@hotmail.com

II Estudiante Maestría en a, Universidad del Quindío

III Director Grupo de Investigación de Agroindustria de Frutas Tropicales. Universidad Quindío.

ed through different methods such as: convective, vacuum-convective, microwave-convective, and lyophilization, to determine the kinetics that offers the best oxidation control and the “ship” with an adequate crispness. Oxidation is caused by the activity of the polyphenoloxidase (E.C.1.10.3.3), which is mainly found in the fruit core and near the fruit peel; to avoid such phenomenon the central part of the apple was removed before rolling it. The slices that were dehydrated through convective drying at 40°C, needed approximately 180 minutes to obtain a constant weight value, with values of ($\Delta E = 5,542 \pm 0,363$), texture ($5,759 \pm 0,198$ kg-f), and water activity ($0,525 \pm 0,004$). The ones dehydrated at 60°C required approximately 60 minutes to obtain a constant weight value, presenting the following values ($\Delta E = 5,279 \pm 0,989$), texture ($3,570 \pm 0,593$ kg-f), and water activity ($0,418 \pm 0,009$).

Key words: Convective, microwave, Freeze, Empty, polyphenoloxidase.

1. INTRODUCCIÓN

Las frutas tienen características funcionales y su consumo, en general, se encuentra por debajo de los niveles recomendados en la dieta normal. La tecnología de secado ofrece alternativas para la conservación de alimentos con características nutritivas adecuadas, aumentando la vida útil y disminuyendo el potencial de desarrollo de microorganismos y reacciones químicas indeseables (Cortés *et al.*, 2005).

La manzana, por su valor nutritivo y sus características fisicoquímicas y organolépticas, ha sido objeto de investigación. Los tratamientos más importantes se realizan a través de los fenoles derivados del ácido hidroxicinámico, presente en la manzana. El ácido clorogénico, seguido de las catequinas, son responsables del oscurecimiento, (Lamikanra, 2002). Diferentes estudios han concluido que la polifenoloxidasa (E.C.1.10.3.1) en frutas como la manzana, se encuentra principalmente en el centro, y de forma secundaria cerca de la cáscara, (Murata *et al.*, 1993). La PPO en esta fruta se ubica al interior de la célula en estado inmaduro, mientras en estado maduro se localiza en vacuolas, (Murata *et al.*, 1997).

El mayor componente de la manzana es el agua (85% BH), seguido de carbohidratos (12%) proteínas (0,3%) y micronutrientes como vitaminas, minerales y enzimas, entre otros (Yun Deng, Yanyun Zhao 2008). La tecnología de secado es responsable de los procesos de deshidratación para la conservación, pero hay que tener en cuenta la geometría del producto y el tipo de secador. Los métodos más aplicados en los procesos de secado son, convectivo, convectivo microondas, vacío y liofilización. El secado convectivo transmite el calor necesario para la evaporación del agua y trans-

porta el vapor de agua que se elimina del alimento (Fito *et al.*, 2001); la tecnología convectivo-microondas utiliza las propiedades dieléctricas del agua, proporcionando una ventaja que distingue este método de los otros convencionales (Tang, J., and Wang, S., 2007); la liofilización busca alcanzar valores de 5% de humedad o menores, disminuyendo las pérdidas de los componentes volátiles y termo sensibles (Rey, 1975); el secado al vacío es un sistema adecuado para materiales sensibles al calor y a la oxidación, como es el caso de las frutas y vegetales. El cambio de color se ve afectado por el grosor del material y la temperatura, además de la tecnología empleada (Jaya y Das, 2003).

Este trabajo busca evaluar la cinética de diferentes métodos de secado (convectivo, convectivo-vacío, convectivo-microondas a 40°C y 60°C y liofilización) a partir de láminas de manzana, buscando prevenir la oxidación y proporcionar la textura adecuada del snack; parámetros que son muy importantes para evaluar la conservación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

La Manzana *Granny smith* se adquirió en el mercado local y se almacenó refrigerada en el laboratorio de Diseño de Nuevos Productos de la Universidad del Quindío. Para cada tratamiento se cortaron rodajas de 6 cm de diámetro por 2 mm de espesor, retirando el centro de la fruta y la proximidad a la cáscara.

2.2 Secado

Las tecnologías de secado utilizadas fueron: secado convectivo (SAC). Se realizaron cinéticas de secado de las rodajas de manzana en una estufa *WTB Binder*, con corriente de aire a dos temperaturas (40°C y 60°C). Al inicio, se pesaron cada 15 minutos, luego cada media hora, y finalmente cada hora, hasta que se obtuvo peso constante. Se registraron datos por triplicado de a_w , color y textura.

Secado convectivo– microondas (SAC-MW). Se realizaron cinéticas de secado de las rodajas de manzana en horno microondas, con potencia de entrada de 1050 W y de salida de 700 W, y una frecuencia de 2450 MHz, con corriente de aire a 40°C y a 60°C, operando de manera alterna tres segundos de energía de microondas y 50 segundos de corriente de aire. Al inicio, se realizaron pesadas cada 15 minutos, luego cada media hora, y finalmente cada hora, hasta que se obtuvo peso constante. Se registraron datos por triplicado de a_w , color y textura.

Secado al vacío (SAC-vacío). Se realizaron cinéticas de secado en rodajas de manzana en estufa *WTB Binder*, con corriente de aire a 40°C por un tiempo de 1 hora y a 60°C durante media hora; luego se pasaron a la estufa de secado P-selecta (Vacío-tem-T) a 40°C y una presión de vacío de -0,85 bar. Al inicio, se realizaron pesadas cada 15 minutos, luego cada media hora, y finalmente cada hora, hasta que se obtuvo peso constante. Se registraron datos por triplicado de a_w , color y textura.

Secado por liofilización. Rodajas de manzana se secaron dentro de un liofilizador *Virtis*, operado en la etapa de congelamiento a -48,5°C, y en la de sublimación a una presión de vacío de 93 mtorr. Se trabajó bajo estas condiciones por lapso de tiempo de 24 horas, estableciendo peso inicial y final. Se registraron datos por triplicado de a_w , color y textura.

2.3 Caracterización fisicoquímica

Las láminas de manzana se caracterizaron por triplicado en estado fresco y luego de cada proceso; las variables a analizar fueron actividad de agua (a_w), empleando para ello un higrómetro de punto de rocío (AquaLabmodel serie 3 TE) marca Decagon. La textura se determinó mediante un analizador TA. XT. Plus, con el accesorio de pinzas de Volodkevich y distancia de 1 mm, con una velocidad de 10 mm/s. El color se determinó con un colorímetro (Minolta CR – 10) mediante el sistema CIELAB, con iluminante D65 y 10° para el observador. Se tomaron los valores de las coordenadas L^* (oscuro – claro), a^* (verde – rojo) b^* (azul – amarillo) y se calculó ΔE , mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

Donde:

L^* : Valor L muestra del tratamiento.

L_0^* : Valor L muestra estándar.

a^* : Valor a muestra del tratamiento.

a_0^* : Valor a muestra estándar.

b^* : Valor b muestra del tratamiento.

b_0^* : Valor b muestra estándar.

2.4 Análisis estadístico

Las mediciones de los discos se siguieron a lo largo del proceso por cada tecnología de secado por triplicado, evaluando el efecto de las diferentes tecnologías y temperaturas sobre las características fisicoquímicas, actividad de agua, color (Delta E) y textura (Kg Fuerza). Estos efectos fueron direccionados mediante el análisis estadístico de medida de tendencia central.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 1, 2 y 3 presentan el comportamiento de la cinética de secado de rodajas de manzana, teniendo en cuenta el control de oxidación por el anillo central.

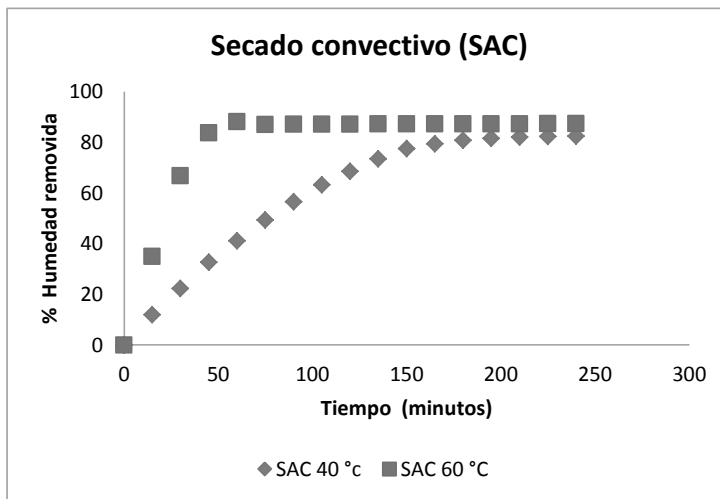


Figura 1. Cinética de secado convectivo a 40°C y 60°C

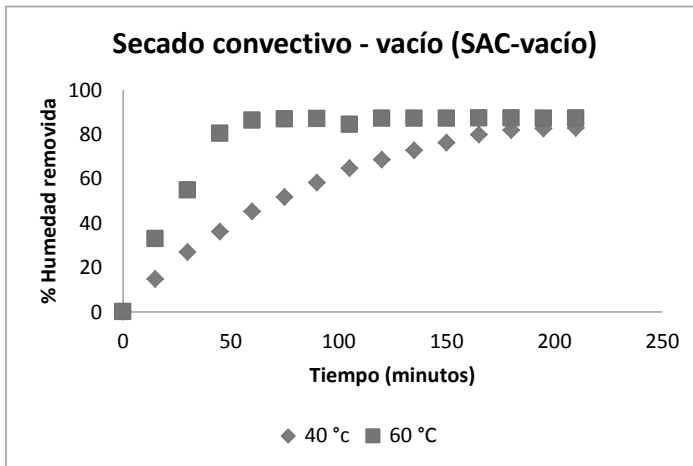


Figura 2. Cinética de secado convectivo-vacío a 40°C y 60°C

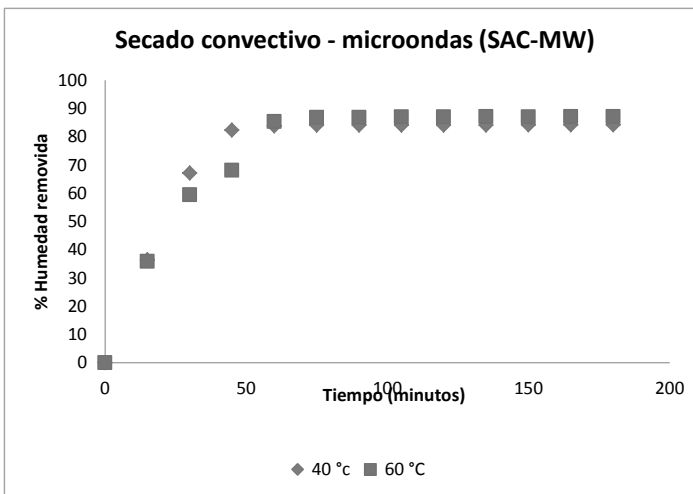


Figura 3. Cinética de secado convectivo-microondas a 40°C y 60°C

En las figuras 1 y 2 se pueden observar que en el secado, al incrementar la temperatura, se presenta una mayor pérdida de humedad en menos tiempo, de lo cual podemos concluir que la mayor temperatura del aire implica mayor velocidad de secado.

La figura 3 presenta mínimas diferencias al aplicar microondas, debido al efecto predominante de la generación de calor al interior del producto, causada por el sistema

dieléctrico y por la potencia de microondas absorbido, algo también evidenciado por Contreras, C. (2006).

Al analizar las diferencias entre la cinética de secado a 40°C de las diferentes tecnologías de secado, en el proceso aplicado con microondas se obtuvo un menor tiempo respecto a SAC y SAC-vacío, probablemente debido a la mayor velocidad de la vaporización del agua cuando se aplica esta metodología, como lo reportado por Martín E. (2001) de tal manera que cuando se aplica microondas, y mientras existe suficiente cantidad de agua en el tejido, la evaporación de agua en la parte interna de la muestra supone la creación de un gradiente de presión de vapor, que actúa como fuerza impulsora adicional para la difusión de agua, y que es responsable de que la primera etapa de secado tenga lugar a velocidad relativamente constante. Como consecuencia, la aplicación de esta tecnología disminuye el tiempo de secado.

Las tablas 1 y 2 presentan las características fisicoquímicas de las rodajas de manzana, sometidas a los diferentes sistemas de secado y a las diferentes temperaturas.

Tabla 1. Variables fisicoquímicas con secado a 40°C y 60°C

	Temperatura (°C)	SAC	SAC - VACÍO	Microondas
Variación del color ΔE	40°C	5,542 ± 0,363	15,729 ± 1,254	18,579 ± 1,347
	60°C	5,279 ± 0,989	11,308 ± 1,729	5,958 ± 0,580
Textura	40°C	5,759 ± 0,198	7,081 ± 0,515	7,310 ± 0,032
	60°C	3,570 ± 0,593	20,367 ± 1,498	6,687 ± 1,519
Actividad de agua (aw)	40°C	0,525 ± 0,004	0,514 ± 0,005	0,441 ± 0,005
	60°C	0,418 ± 0,009	0,731 ± 0,015	0,602 ± 0,004

Tabla 2. Variables fisicoquímicas con secado por liofilización

	Variación del color Δe	Textura	Actividad de agua (a_w)
Liofilización	3,537 ± 1,715	7,029 ± 0,676	0,358 ± 0,001

En las tablas 1 y 2, los valores más representativos respecto a la calidad del color, se alcanzan por secado convectivo (SAC) a temperatura de 40°C (5,542 ± 0,363) y de 60°C (5,279 ± 0,989) por liofilización congelado a -48,5°C y sublimado a una presión de vacío de 93 mtorr (3,537 ± 1,715). Donde se presentó mayor pardeamiento fue en el secado por microondas (18,579 ± 1,347) a 40°C, en el cual, además de pardearse mucho, se evidenció daño en el tejido.

Se retiró el centro de la fruta y la pulpa más cercana a la cáscara; se demostró que presentaba menor grado de pardeamiento, gracias a que la actividad de la polifenoloxidasas se encuentra principalmente en el centro de la fruta y de forma secundaria cerca de la cáscara, como lo menciona Murata *et al.*, (1993).

Un estudio de secado de manzana, relacionado con el pardeamiento enzimático de discos de manzana *Granny Smith* de 22 mm de diámetro y 10 mm de espesor, demuestra que los mayores cambios en la variación de color se dieron durante las primeras horas del proceso de secado (Fernández, P.2007).

La textura es otra característica evaluada que muestra sus mejores valores, es decir, menor resistencia al corte, como se observa en las tablas 1 y 2, mediante el secado convectivo (SAC) a temperatura de 40°C con valores ($5,759 \pm 0,198$) y a 60°C ($3,570 \pm 0,593$) finalizando con microondas ($6,687 \pm 1,519$). El valor más alto ($20,367 \pm 1,498$) está dado por SAC – vacío, probablemente porque al retirar el contenido de aire del interior celular las paredes se adhieren entre sí, presentando resistencia mecánica. Contreras M. (2006) reporta que ello se debe a que la temperatura del aire provoca un cambio en la solubilidad de las pectinas, relacionado con un incremento de la fracción hidrosoluble y una disminución del oxalato soluble y de la pectina residual, que hace que las muestras deshidratadas presenten una mayor resistencia mecánica

En cuanto a actividad de agua, las tecnologías convectivo-vacío ($0,731 \pm 0,015$) y microondas ($0,602 \pm 0,004$) muestran los datos más altos, siendo valores no adecuados para la producción de snack, ya que éstos tienen una relación directa con la textura.

La liofilización evidencia muy buenos resultados; aun así, SAC presenta mayores ventajas, incluso económicamente, porque la liofilización es un procedimiento más costoso por los cambios de fase y altos consumos de energía. En condiciones de secado convectivo- vacío, se evidencia deterioro del tejido, alta resistencia al corte y pardeamiento. Bajo microondas se ha encontrado encogimiento en el tejido, dureza en la textura y gran pardeamiento.

4. CONCLUSIONES


Al retirar el centro de la manzana y la proximidad a la cáscara, se pudo demostrar que se genera menos pardeamiento, debido al desplazamiento del cambio de color del centro hacia fuera (por obscurecimiento).

La cinética de secado en combinación con las variables fisicoquímicas analizadas, mejor control de la oxidación, menor resistencia al corte y menor actividad de agua, muestran que la mejor metodología en láminas de 2 mm de grosor y 6,6 cm de diámetro, es el secado convectivo, tanto a 40°C como a 60°C, siendo más evidente la de 60°C, debido a la eficiencia en el proceso de secado.

BIBLIOGRAFÍA

- Astigarraga-Urquiza, J. ; Astigarraga-Aguirre, J. (1995). Hornos de alta frecuencia y microondas. Teoría, cálculo y aplicaciones. Mc Graw-Hill.
- Contreras Monzón, Carolina Ivonne (2008). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas.
- Cortés R. Misael, Chiralt B. Amparo y Puente D. Luis. (2005). Alimentos funcionales, una historia con mucho presente y futuro. Vitae, Revista de la facultad de Química farmacéutica. Volumen 12.
- Fernández, A. Pricila Andrea, (2007). Estudio de la impregnación a vacío de miel y su efecto en atributos de calidad de hojuelas de manzana (*var. Granny Smith*) deshidratadas. Trabajo de grado. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas.
- Fito, P. ; Andrés, A. ; Barát, J. ; Abors, A. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Gowen, A. ; Abughannam, N. ; Frias, J. ; Oliveira, J. Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave hot air drying. Innovative.
- Jaya, S. ; y Das, H. (2003). A vacuum drying model for mango pulp. *Drying Technology*, 21 (7), 1215-1234
- Lamikanra, Olusola. Fresh-cut Fruits and Vegetables. (2002). Edit CRC PRESS Leticia Fernández 1, José Miguel Aguilera 2, Gabriela Clemente 1, Antonio Mulet 1. Efecto del tiempo y la temperatura de secado en el color de discos de manzana deshidratados.
- Martín Esparza M. E. (2001). Utilización de microondas en el secado por aire caliente de manzana (Var. *Granny Smith*). Influencias del pretratamiento por impregnación a vacío. Departamento de tecnología de Alimentos. Politécnica de Valencia.
- Murata M. Kurokami, C. Hmma, S. and Matsushashi, J. (1993). Inmunochemical and inmunohistochemical study of apple clorogenic acid oxidese. J. Agric. Food Chem. 41: 1385-1390.
- Murata, M., Tsurutani, M., Hagiwara, S. and Homma, S. 1997. "Subcellular location of polyphenol oxidase in apples" BioSci. Biotechnol. Biochem 61: 1495-1499.

Rey, L. (1975). Some basic facts about freeze drying. In S:A: Goldblith (Ed), Freeze drying and advanced technhnology (pp. 730). London.

Yun Deng, Yanyun Zhao. (2008) Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). Food Science and Technology, Vol. 41, pág. 1575-1585 

Referencia	Fecha de recepción	Fecha de aprobación
Valencia C. S. Y. ; Rodríguez H. L. F. y Giraldo, P. G. A. Cinética de secado y control de la oxidación en manzana <i>Granny smith</i> , mediante la aplicación de diferentes tecnologías de secado. Revista Tumbaga (2011), 6, 7 - 16	Día/mes/año 11/07/2011	Día/mes/año 10/08/2011