



Secado de lúcuma (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana RefractanteTM

Drying of lucuma (*Pouteria obovata*) using the technique of Refracting WindowTM

Diego Gamboa, Deiner Ibáñez, Marcela Meléndez, Edgar Paredes, Raúl Siche*

Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo Perú.

Recibido 03 septiembre 2013. Aceptado 17 abril 2014.

Resumen

La lúcuma es una fruta que experimenta una tendencia creciente a nivel comercial en forma de harina para su empleo en la industria alimentaria. Este estudio tuvo como objetivo obtener harina de lúcuma utilizando el método de secado por ventana refractante y evaluar el efecto del espesor de la pulpa de lúcuma y el tiempo de secado en la humedad y el color de la harina. Fue utilizado un Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR) con el tiempo entre 10 y 50 min y el espesor entre 1 y 3 mm. Se empleó una temperatura fija de 95°C y lámina mylar (polietileno de tereftalato metalizado) como película refractante de 0,1 mm. Se determinó que las condiciones ideales para obtener harina de lúcuma (9,8% de humedad) con esta técnica se da cuando el espesor fue 1,3 mm y con un tiempo de 15 minutos; a estas condiciones la difusividad efectiva del agua es de $2,53E-7 \text{ m}^2/\text{s}$.

Palabras clave: Ventana Refractante, lúcuma, difusividad efectiva, deshidratación.

Abstract

Lucuma is a fruit that is experiencing a growing trend in commercial ground into flour for use in the food industry. This study aimed to obtain lucuma flour using the method of refractive window drying and evaluate the effect of the thickness of lucuma pulp and drying time on flour moisture and color. It was used a Composite Design Central Rotary (DCCR) with time between 10 and 50 min and the thickness between 1 and 3 mm. A fixed temperature of 95 °C and mylar film (metallized polyethylene terephthalate) as a refractory film of 0.1 mm was used. It was determined that the optimal conditions for lucuma flour (9.8% moisture) with this technique is when the thickness was 1.3 mm and with a time of 15 minutes; in these conditions, the effective diffusivity of water is $2.53 \text{ E}-7 \text{ m}^2/\text{s}$.

Keywords: Refracting Window, lucuma, effective diffusivity, dehydration.

1. Introducción

En la actualidad una gran cantidad de productos son secados por diversas razones como la preservación, la reducción de peso o volumen, el mejoramiento de su estabilidad, etc. (Hernández y Quinto, 2005). Productos de bajo costo y alta calidad no se presentan de forma simultánea por los métodos tradicionales de secado de alimentos sólidos. La calidad de los productos secos disminuye debido a la sensibilidad al calor de los nutrientes y los cambios adversos en las propiedades

fisicoquímicas de la mayoría de frutas y verduras. A pesar de que la liofilización ofrece productos deshidratados con forma preservada, sabor, color, y vitaminas, el costo de esta tecnología es varias veces mayor que el costo asociado a la desecación con aire caliente (Clarke, 2004).

Para la deshidratación eficaz de los alimentos sensibles al calor, una técnica de secado patentado por Magoon en 1986 fue desarrollado por MCD Technologies, Inc. (Washington, EE.UU.) y llamado de

* Autor para correspondencia

Email: rsiche@unitru.edu.pe (R. Siche)

Refractance Window™ (RW) (Ochoa-Martínez *et al.*, 2012). Esta técnica ofrece una temperatura en el interior del producto de menos de 70°C y tiempos de secado cortos que dependen del espesor del producto secado (3 - 5 min para materiales de puré). Esencialmente, el material a secar en forma de pulpa, jugo o alimentos en rodajas (fruta o vegetal) se coloca sobre una película de plástico que es transparente a la radiación infrarroja y tiene características especiales con respecto a la refracción (por ejemplo, Mylar™). Esta película flota en la superficie de agua caliente mantenido a 95 – 97°C de modo que la energía térmica para la evaporación de humedad se transfiere desde el agua caliente para el material húmedo principalmente a través de la radiación infrarroja (Nindo *et al.*, 2007; Nindo *et al.*, 2003a; Kudra y Mujumdar, 2009).

Nindo *et al.* (2003a) llevaron a cabo experimentos con el puré de calabaza para evaluar la eficiencia energética y el efecto de la reducción microbiana de RW. Esta técnica fue capaz de reducir el contenido de humedad del 80% al 5% (bh) en menos de 5 min. Los resultados mostraron que RW es eficiente en la energía y tiene una buena capacidad de reducción microbiana. Nindó *et al.* (2003b) secaron puré de espárragos para usar como un ingrediente en alimentos instantáneos. Métodos como el secado en bandejas, secado en lecho fluidizado, microondas combinado, secado por Ventana Refractante, y liofilización fueron evaluados. La actividad antioxidante total del espárrago después de secado RW y la liofilización fue significativamente mayor que después del secado por otros métodos. El secado RW dio lugar a la más alta retención de ácido ascórbico en el espárrago en comparación con todos los otros métodos estudiados. Nindó *et al.* (2004, 2007) también utilizaron la tecnología RW para la evaporación de zumos de bayas.

La mayoría de los estudios sobre la técnica RW se han llevado a cabo con frutas y verduras en puré o jugo, sin embargo, esta

técnica es también atractiva para el secado de rodajas de fruta y vegetales.

El equipo necesario para el secado RW es simple y relativamente de bajo costo en comparación con liofilizadores. Para el secado de una cantidad similar de producto, el coste de un equipo RW es alrededor de un tercio del costo de un secador por congelación, mientras que la energía consumida por RW es menos de la mitad la energía consumida por un liofilizador (Nindo *et al.*, 2007).

Respecto a la lúcuma, se han encontrado trabajos para determinar la cinética de secado, sin embargo no se ha empleado el método se RW. Sólo existen referencias que se comercializan la lúcuma como fruta fresca y como harina, con gran potencial para exportación.

La lúcuma es un frutal oriundo de Sudamérica, se produce en Colombia, Ecuador, norte de Chile y Perú, siendo los principales productores a nivel mundial con una participación de 88%. La mayor producción a nivel nacional está en Lima que concentra el 68% de la producción y en menor escala Piura, Cajamarca, La Libertad, Ica y Ayacucho (MINAG-OIA, 2010).

La lúcuma posee un alto valor nutricional y es una gran fuente de carbohidratos, vitaminas y minerales. El fruto procesado como harina se emplea en la preparación de helados, golosinas, repostería, etc. Para el mercado internacional se destina aproximadamente el 1% de la producción de lúcuma (MINAG-OIA, 2010) la cual se distribuye principalmente como harina; por lo que este estudio tiene como fin determinar el tratamiento ideal con ventana refractante en donde se obtenga una harina conforme a los requerimientos estándar, 10% de humedad (Figuroa *et al.*, 2010).

2. Material y métodos

Se utilizó lúcuma con un contenido promedio de 10,3 °Brix, y un contenido de humedad de 58,84 %, proveniente del mercado local La Hermelinda, Trujillo-Perú.

Se realizó una selección y lavado de la fruta, separando las impurezas o residuos, como: polvo, daños mecánicos, etc. Para facilitar la operación se cortó en rodajas de 1 a 3 mm de espesor con máquina de cortar alimentos. Discos de 1,84 cm de diámetro fueron cortados utilizando un sacabocados. Siguiendo la secuencia, se llevó a cabo el secado por ventana refractante. Este secador se compone de una bañera termostática de acero inoxidable de 18L llena de agua destilada. La superficie del agua está cubierta con papel Mylar (película de plástico color dorado) en el que 12 muestras eran colocadas, espaciadas uniformemente, para cada prueba. La temperatura del baño se fijó en $95^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, elegido por ser la más óptima ya que una temperatura más alta crea turbulencia y burbujas de aire en el baño de agua, que interfiere con la transferencia de energía a través del cinturón como se ha mencionado por Clarke (2004). Además, se tomó el tiempo de 10 - 50 minutos, para determinar la pérdida de humedad. El contenido de humedad se determinó usando el determinador de humedad (MAC 50, Max 50 g, $\delta = 1$ mg), tanto al iniciar la prueba y después de ser sometida al tratamiento.

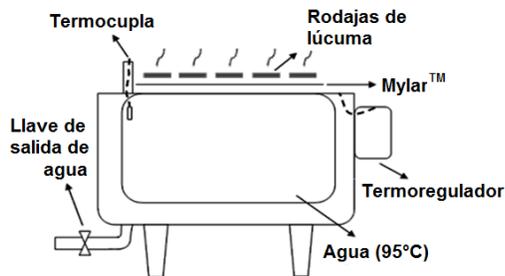


Figura 1. Esquema del secador ventana refractante utilizada en el experimento.

Análisis Estadístico

Se utilizó un Diseño Compuesto Central rotacional (DCCR) de segundo orden con resultados en Superficie de Respuesta. Este diseño, incluye 2^k factoriales (+1, -1), $2 * k$ puntos axiales (+1,41; -1,41), y cuatro puntos centrales (0,0) para evaluar el error experimental ($k = 2$ variables indepen-

dientes: tiempo (10 - 50 min) y espesor (1 - 3 mm), totalizando 12 tratamientos (Tabla 1).

Se construyeron modelos del tipo:

$$Y \approx \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$$

donde: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{12}$: Coeficientes de regresión; Y: Respuesta, en función de los coeficientes significativos para cada respuesta (% humedad y difusividad efectiva).

Luego, se realizó un ANVA para los modelos y el cálculo de los coeficientes de determinación (R^2), pruebas que permiten validar estadísticamente los modelos. Finalmente, se generan superficies de respuesta en donde se buscaron regiones de interés.



Figura 2. Esquema experimental de secado por ventana refractante.

3. Resultados y discusión

En la tabla 1 se observan las humedades finales y el color en base a la marcha aleatoria de recolección de datos.

Tabla 1

Resultados de los 12 ensayos realizados

	Tiempo (min)	Espesor (mm)	Humedad (%)	Color		
				ΔL	Δa	Δb
	X1	X2	Y1	Y2		
1	15,86	1,29	9,82	0,8	0,4	1,7
2	15,86	2,71	21,05	0,3	4	4,3
3	44,14	1,29	5,31	10,6	1,8	9,7
4	44,14	2,71	7,55	14,8	4,8	17,9
5	30,00	1,00	8,89	9,2	-0,4	6,3
6	30,00	3,00	12,17	8	2,7	11,1
7	10,00	2,00	21,90	0,3	1,3	-1
8	50,00	2,00	4,62	9,5	4,3	3,4
9	30,00	2,00	5,94	2,6	7,9	4,6
10	30,00	2,00	6,70	6,6	6,7	21,8
11	30,00	2,00	6,25	6,1	4,9	16,2
12	30,00	2,00	6,22	6,4	0,2	1,5

Se observa que el tratamiento 1 (E= 1,29 mm, t=15,86 min) resulta en un porcentaje de humedad final de 9,81%, contenido de humedad que otorga una debida protección del alimentos deshidratado contra el deterioro y adecuada conservación. El tratamiento 8 (E= 2 mm, t= 50 min) es el que permite obtener la humedad más baja (4,62%) y el tratamiento 7 (E= 2 mm, t= 10 min) la humedad más alta (21,9%), indicando claramente que a mayor tiempo de proceso, menor es la humedad final. Lo más, importante no es llegar a humedades, ni tan bajas ni tan altas, sino humedades cerca del 10%, condición que puede ser vista con un análisis de superficie de respuesta, como lo veremos más adelante. Márquez *et al.* (2007) y Salamanca *et al.* (2009) afirman que la fracción húmeda se remueve desde un 90-95% de humedad inicial hasta 3-10%, al secar alimentos por la técnica de RW.

Cinética de secado

Según se observa en la Figura 3, el secado de lúcuma por el método de ventana refractante llega al equilibrio aproximadamente a los 20 min de secado; muy por debajo del tiempo que toma un proceso de secado convectivo (90 min del proceso).

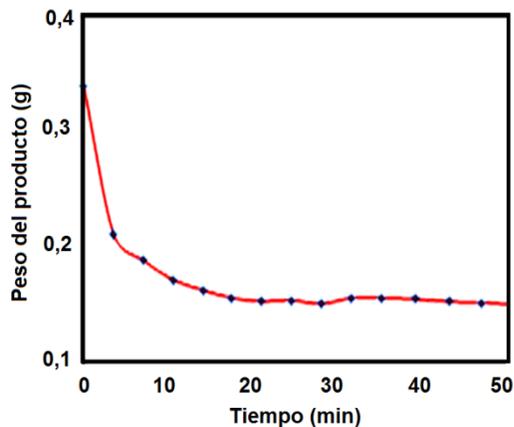


Figura 3. Cinética de secado de lúcuma por RW.

Nindo y Tang (2007) trabajando con puré de fresas y con RW, el producto se secó en menos de 5 min, contrariamente a varias horas de secado por bandeja o por

liofilización. Así, el método de secado por RW es un método que permite la deshidratación de alimentos e ingredientes en bajos tiempos de proceso, lo que permite mantener su integridad respecto al sabor, color y nutrientes (Clarke, 2004).

Debido a que mediante el secado por ventana refractante la energía térmica del vapor de agua se transfiere al producto por convección y radiación, esta transmisión está en función de las propiedades térmicas del polímero, este flujo de calor genera la elevación instantánea de la temperatura en el producto alcanzando la temperatura del orden de 70 a 75°C (Márquez *et al.*, 2007). Además, Salamanca *et al.* (2009) afirman que la técnica de ventana refractante permite secar alimentos mediante un incremento térmico cedido del vapor de agua hacia la película Mylar que está en contacto con el alimento.

Modelación y Análisis

Se obtuvo un modelo para predecir el porcentaje de humedad:

$$\%H = 27,35 - 0,901 * \chi_1 + 0,016 * \chi_1^2 + 3,77 * \chi_2^2 - 0,22 * \chi_1 * \chi_2$$

Este modelo tiene un coeficiente de determinación (R²) de 95,53, indicando que explica aproximadamente el 96% de la variabilidad del porcentaje de humedad (con las variables estudiadas y en los intervalos establecidos).

Con un análisis e efectos, se logra afirmar que la humedad no se ve influenciada significativamente por el espesor (p > 0,05), mientras que al interaccionar con el tiempo sí logra influir significativamente (p < 0,05) sobre la humedad final de las rodajas de lúcuma.

Tabla 2

Análisis de varianza para el modelo de la humedad

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Modelo	364,32	5	72,86	25,65	0,00056
Residuo	17,04	6	2,84		
Total	381,36	11			

Por otro lado, el modelo para la humedad resulta ser altamente significativo ($p < 0,05$, Tabla 2), que sumado a un R^2 elevado, avalan la validez del modelo y su posterior análisis gráfico mediante superficie de respuesta (Figura 4).

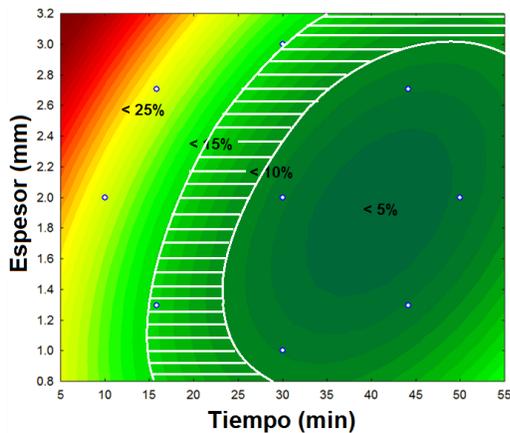


Figura 4. Superficie de contorno para la humedad final en la lúcuma.

Es posible observar regiones que permite lograr porcentajes de humedad bajos y regiones con porcentajes de humedad altos, en función de exponer al producto un mayor o menor tiempo de secado. Un producto muy seco podría tener problemas de inestabilidad en el almacenamiento, como por ejemplo higroscopicidad. Un producto muy húmedo problemas de enmohecimiento. Por lo que la humedad debe ser intermedia, entre 9 y 14% (región pintada con trazos de color blanco).

Por otro lado, para rodajas de lúcuma deshidratadas con 1,29 mm de espesor y a 95°C por RW se obtuvo una difusividad efectiva de $2,534 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Inga y Velezmoro (2004) reportaron valores de difusividad para secado de lúcuma (a 2, 3 y 4 mm a 70°C) empleando el método secado por túnel de $9,751 \times 10^{-10}$, $1,876 \times 10^{-9}$ y $2,475 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente. Como se puede observar existe una relación directa entre el espesor y la difusividad de la humedad del producto, lo que corrobora el resultado obtenido mediante RW. Otros autores obtuvieron valores de difusividad efectiva de humedad

para el secado de rodajas de zanahoria por ventana refractante, de $1,257 \times 10^{-9}$ a $2,2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para 35, 45 y 55 °C. Se observa que el aumento de la temperatura de secado resulta en valores de difusividad superiores (Kaya *et al.*, 2009) y que con la técnica de RW se obtienen valores de difusividad mayores, lo que significa que la velocidad con la que se da la transferencia de masa en la técnica de RW es mayor que con el secado convectivo en túnel con aire caliente.

Una propiedad importante en las características de un producto procesado son los atributos de color. Dentro de los sistemas desarrollados para cuantificar los atributos de color se encuentra el sistema CIELAB, el cual fue desarrollado por la Comisión Internacional d'Éclairage (CIE). Este sistema permite posicionar el color en un espacio tridimensional que se define por una combinación de coordenadas donde un punto se asocia a un único color. De esta manera L^* corresponde a la coordenada de luminosidad, a^* (+rojos,-verdes) y b^* (+amarillo,-azul) corresponden a coordenadas de cromaticidad, C^* intensidad y H° tinte (CIE). El cambio de color en algunos productos es totalmente inaceptable (Ramachandra y Srinivasa-Rao, 2008).

El análisis estadístico para el color (Tabla 3) resulta que un modelo generado para esta variable no es significativo ($p > 0,05$), por lo que no se debe generar un modelo y su posterior superficie.

Tabla 3. Análisis de varianza para el modelo de la variable dependiente (color)

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Modelo	407,3	5	81,45	1,19	0,41
Residuos	408,2	6	68,03		
Total	815,5	11			

Aunque el significado de este resultado es muy importante para nuestros fines, ya que al no existir efecto significativo de la técnica de secado por RW en el color, es

un indicador que la calidad de producto en función del color no empeora cuando se aplica la técnica por RW.

4. Conclusiones

El secado mediante ventana refractante (RW), se basa en la transmisión de la energía térmica de agua caliente que circula en el equipo a través de una película de contacto o polímero conductor que contiene el producto en la superficie de este. Se utilizó una temperatura promedio de 95 °C y se determinó que en un tiempo de 15 minutos y con un espesor de 1,29 mm se logra obtener un 9,82 % de humedad. Se determinó que la muestra en éstas condiciones exhibe una difusividad promedio de $2,534.E-7 \text{ m}^2/\text{s}$ la cual es mayor que las exhibidas por las muestras secadas en estufa ($9,75 E-10 \text{ m}^2/\text{s}$), lo que significa que con la técnica de RW se obtienen velocidades de secado mayores que en los métodos tradicionales. Finalmente, el método de RW no influyó significativamente en el color, demostrándose que este método es ideal para obtener productos deshidratados de mejor calidad.

5. Referencias bibliográficas

- Clarke, P. 2004. Refractance window TM - "Down under". Drying - Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004). Sao Paulo, Brazil, 22-25 August 2004, vol. B.: 813-820.
- Figueroa, A.; Ramírez, E.; Guido E.; Vega. L. 2010. Secado solar Técnico de Lúcumo (*Lúcuma ovobata* H.P.K). Lima, Peru.
- Hernández, J.; Quinto, P. 2005. Secado de medios porosos: una revisión a las teorías actualmente en uso científica. Científica 9(2): 63-71.
- Inga, D.; Velezmoro, J. 2004. Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. Journal of Food Processing and Preservation 27(2): 17-20.
- Kaya, A.; Aydin, O.; Demirtas, C. 2009. Experimental and theoretical analysis of drying carrots. Desalination 237(2/3): 285-295.
- Kudra, T.; Mujumdar, A.S. 2009. Advanced drying technologies. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Marquez, C.; Otero, C.; Cortés, M. 2007. Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. Vitae 14(2): 9-16.
- MINAG-OIA. 2010. Cultivos según departamento. Ministerio de Agricultura. Oficina de Información Agraria. Perú.
- Nindo, C.I.; Feng, H.; Shen, G.Q.; Tang, J.; Kang, D.H.; 2003a. Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. Journal of Food Processing and Preservation 27 (2): 117-136.
- Nindo, C.I.; Sun, T.; Wang, S.J.; Tang, J.; Powers, J.R., 2003b. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinales*, L.). LWT - Lebensm Wiss Technolog 36: 507-516.
- Nindo C.I.; Tang J.; Powers J. R.; Bolland K. 2004. Energy consumption during Refractance Window evaporation of selected berry juices. International Journal of Energy Research 28(12): 1089-1100.
- Nindo, C.I.; Powers, J.R.; Tang, J. 2007. Influence of Refractance Window vaporation on quality of juices from small fruits. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie 40, 1000-1007.
- Nindo, C.T.; Tang, J. 2007. Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. Drying Technology 25(1): 37-48.
- Ochoa-Martínez, C. I.; Quintero, P.T.; Ayala, A.A.; Ortiz, M.J. 2012. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. Journal of Food Engineering 109(1): 69-75.
- Ramachandra, C.T., Srinivasa-Rao, P. 2008. Processing of Aloe vera leaf gel: A Review. Amer. J. Agric. Biol. Sci. 3: 502-510.
- Salamanca, G.; Martínez, P.; Osorio, M. 2009. Efecto de la temperatura y condiciones de entorno en la estabilidad cromática del puré de aguacate (*Persea americana* var. Choquette). III Congreso Latinoamericano de Aguacate. Medellín.