

OBTENCIÓN DE JUGO DESHIDRATADO DE NARANJA MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Madai Bringas-Lantigua, Yojhansel Aragüez, Jorge A. Pino, Masiel Galvez y Elda Roncal*

Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia

Carretera al Guatao km 3 ½, La Lisa, La Habana, Cuba, C.P. 19200

E-mail: madai@iia.edu.cu

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la influencia de las temperaturas de entrada y salida del aire en el secado por atomización del jugo de naranja para obtener jugo deshidratado. A través de las técnicas de superficie de respuesta se utilizó un modelo de diseño factorial 3² para la optimización de las temperaturas. El soporte utilizado para la deshidratación fue maltodextrina DE 12 (relación 1:3 en base seca). Se obtuvo un óptimo con una temperatura del aire de entrada de 154 °C y una temperatura de salida de 81 °C. Con esta combinación se obtuvo un producto con 74,0 % de rendimiento; 82,8 % de retención de ácido ascórbico; 1,37 de cohesividad; 21,35 g/100 g de sólidos de higroscopicidad y 64 s para el tiempo de disolución. El producto deshidratado es de buena calidad para su empleo como saborizante.

Palabras clave: jugo de naranja, secado por atomización, optimización.

ABSTRACT

Obtainment of dehydrated orange juice by spray drying

The objective of this work was to evaluate the influence of the inlet and outlet air temperatures in the spray drying of orange juice to obtain dehydrated juice. With the aid of response surface a 3² factorial model was used for the optimization of the temperatures. Maltodextrin DF 12 (relationship 1:3 in dry base) was used as carrier. An optimal point was obtained at 154 °C for the inlet air temperature and 81 °C for the outlet air temperature. With this combination, a product with 74.0 % yield, 82.8 % ascorbic acid retention, 1.37 cohesiveness, 21.35 g/100 g hygroscopicity, and 64 s solubility time was obtained. The dehydrated product has a good quality as flavoring.

Keywords: flavoring, spray drying, optimization.

INTRODUCCIÓN

Las frutas son una fuente importante de vitaminas y carbohidratos que son naturalmente dulces y bajas en calorías. Estas contienen diferentes tipos de vitaminas, por lo que es importante contar con una variedad de ellas. Son parte de la dieta diaria pues no hay efectos dañinos en su consumo al proveer las vitaminas necesarias al cuerpo las cuales son necesarias al hombre pues proveen medios para alejar varios tipos de enfermedades.

El secado por aspersión es uno de los métodos más empleados para deshidratar alimentos y prolongar su vida útil (1). Por ser uno de los más económicos, es también empleado para microencapsular ingredientes alimenticios y compuestos nutricionales (2). Sin embargo, se ha limitado su uso debido a la degradación que presentan los micronutrientes al ser sometidos a altas temperaturas en el secador (3). La retención de

**Madai Bringas Lantigua: Ingeniera Química (CUJAE, 2009), Master en Ciencias (CUJAE, 2013). Trabaja en la Planta de Aromas. Sus principales líneas de trabajo son la microencapsulación de saborizantes y productos azucarados, así como la obtención de productos naturales.*

volátiles en el secado por atomización depende de las propiedades fisicoquímicas del material encapsulante, del compuesto a encapsular, del contenido en sólidos de la emulsión y de la temperatura de procesado. Entre las técnicas de secado, el secado por atomización puede ser utilizado para producir jugos deshidratados de frutas (2, 4). Es muy importante estudiar la influencia de las temperaturas de entrada y salida del aire en las características del producto deshidratado mediante secado por atomización ya que estas influyen en su calidad.

La adición de aditivos de alto peso molecular al producto antes del secado por atomización es ampliamente usada como alternativa para incrementar la temperatura de transición (Tg) del producto seco. El uso de soportes tales como, maltodextrinas, goma arábica, almidones, celulosa cristalina y proteínas, influyen en las propiedades y estabilidad del producto seco. Los soportes más usados para jugos de frutas son las maltodextrinas y la goma arábica (2, 5).

El componente nutricional más importante en la naranja es el ácido ascórbico (vitamina C), ya que 100 g de producto contienen hasta el 90 % de las necesidades diarias; además contiene sustancias no nutritivas, pero con gran influencia en la salud (6). Por todo lo anterior, el objetivo general de este trabajo fue evaluar la influencia de las temperaturas de entrada y salida del aire en el secado por atomización del jugo de naranja para obtener jugo deshidratado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó jugo concentrado de naranja (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) (Combinado Citrícola de Jagüey Grande). Para reforzar el sabor del jugo concentrado de naranja se adicionó una esencia alcohólica al 70 % obtenida a partir de aceite esencial de naranja exprimido en frío, producto elaborado en el IIIA (Código 12005). Se usó como soporte para el secado maltodextrina DE 12 (IMSA, Guadalajara, México) y agua destilada para preparar las mezclas.

Para realizar la operación de secado se prepararon 3 kg de mezcla en un tanque mezclador con agitación mecánica. La matriz quedó constituida por 0,262 kg de jugo concentrado; 0,787 kg de MD (relación 1:3 en base seca) y 0,04 kg de esencia alcohólica de naranja.

La mezcla se alimentó a un secador por atomización Niro Production Minor (Niro Atomizer Ltd., Columbia, EE.UU.) de disco centrífugo (2 x 104 min⁻¹). Se evaluaron temperaturas de entrada del aire entre 140 y 180 °C, así como temperaturas de salida del aire entre 75 y 85 °C; intervalos seleccionados de acuerdo a la bibliografía (1, 2).

La determinación de sólidos solubles al concentrado de naranja se realizó por refractometría (7). La determinación de acidez se realizó por valoración con solución estándar de NaOH 0,1 N (7). La viscosidad de la mezcla se midió en un viscosímetro Brookfield modelo LVT a partir de 250 mL de muestra, a una velocidad de 30 min⁻¹ y 25 °C. Las lecturas se hicieron a los 15 s de iniciada la rotación con el husillo No. 1 (SP1). La determinación de sacarosa y reductores libres se realizó a partir del método volumétrico Lane-Eynon (AOAC, 2006). El ácido ascórbico se determinó mediante un método volumétrico con 2,6-diclorofenol-indofenol (7). La densidad del jugo concentrado se determinó a partir de 2 g de muestra en un densímetro digital Kyoto Electronics Manufacturing modelo DA-130 N a 25 °C. La densidad a granel (dg) del producto deshidratado se realizó pesando 1 g de polvo en una probeta de 10 mL y se midió el volumen. La densidad aparente (da) fue calculada con el volumen medido después de darle 50 golpes a la probeta (8).

El contenido de humedad se determinó con un analizador de humedad Sartorius mod. MA35 (Goettingen, Alemania). La muestra se calentó durante 2 min a 105 °C con radiación infrarroja y se registró automáticamente la pérdida de peso. Los análisis se hicieron por duplicado y los resultados se expresaron como promedios.

El rendimiento del producto deshidratado se calculó a partir de su masa en base seca, obtenida a partir del jugo alimentado al secador, según la ecuación:

$$R = \frac{P \times X_P}{L \times X_L} \times 100$$

Donde R: rendimiento (% m/m), L: masa de líquido del que se alimenta al equipo, XL: fracción de sólidos en el líquido de alimentación, P: masa de polvo obtenido, XP: fracción de sólidos en el polvo obtenido.

La solubilidad se realizó a partir de 2 g de producto deshidratado con 50 mL de agua destilada a 25 °C. La mezcla se agitó en un vaso de precipitados de forma baja de 100 mL con agitación magnética a 900 min⁻¹ y con una barra de agitación de 8 mm x 12 mm. El tiempo requerido para disolver el material completamente se registró (8).

La cohesividad se calculó a partir del cociente entre la densidad aparente y densidad a granel (9). Si $HR < 1,2$ la cohesividad es baja, si $1,2 \leq HR \leq 1,4$ entonces la cohesividad es intermedia y si $HR > 1,4$ la cohesividad es alta.

La determinación de la higroscopicidad se realizó a partir de 1 g de producto deshidratado, colocado en un pesafiltro dentro de una desecadora con una solución saturada de cloruro de sodio (75,3 % humedad a 25 °C) por una semana. La higroscopicidad se expresó como g de agua/100 g sólidos secos según la siguiente expresión (10, 11):

$$h = \frac{(m_f - m_p) \times 100}{m_p} - \frac{H}{100}$$

Donde h: higroscopicidad, mf: masa final después de una semana, mp: masa de polvo, H: humedad del polvo.

La superficie externa del polvo fue estudiada por microscopía electrónica de barrido (SEM). Se examinó en un microscopio electrónico de barrido Tescam 5130 SB (Praga, República Checa) a un voltaje de aceleración de 10 kV.

El jugo deshidratado obtenido con las condiciones óptimas fue evaluado sensorialmente mediante la elaboración de una bebida refrescante, cuya composición fue 12,5 % de jugo deshidratado; 10,7 % de azúcar refinado y 0,0086 % de ácido cítrico anhidro. La muestra para la prueba (50 mL) se sirvió a 15 °C. Se utilizó una prueba hedónica de aceptación con 80 personas de ambos sexos (entre 20 y 60 años). En esta prueba se usó una escala de cinco categorías: me gusta mucho, me gusta, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta y me disgusta mucho (12).

La optimización de las temperaturas del aire de entrada y salida se realizó mediante las técnicas de superficie de respuesta. Se utilizó un modelo de diseño factorial

de tres niveles (modelo 3²), lo que equivale a dos factores con tres niveles. Los factores fueron la temperatura de entrada y la temperatura de salida. Las variables de respuesta fueron rendimiento, retención de ácido ascórbico, tiempo de disolución, higroscopicidad y cohesividad. Las tres primeras variables de respuesta fueron usadas para la optimización. El rendimiento y la retención de ácido ascórbico se maximizaron, mientras que se minimizó el tiempo de disolución para calcular los valores óptimos. La adecuación de los modelos obtenidos se evaluó mediante la prueba F-Fisher para $p \leq 0,05$. Las experiencias se realizaron aleatoriamente y sus resultados se procesaron con el programa Design-Expert ver. 7.1.5 del 2008 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La viscosidad de las mezclas a secar por atomización es importante, pues este parámetro afecta el tamaño de las microcápsulas y el grosor de sus paredes (13, 14). La mezcla obtenida tuvo una viscosidad de 40 mPa·s. Una baja viscosidad permite elevar el contenido de sólidos de la emulsión a secar, lo que favorece una mayor retención de compuestos volátiles (15). Este valor es muy inferior al máximo de 300 mPa·s reportado (1).

La humedad del aire en el secador es un resultado de combinaciones de las temperaturas de entrada y salida (15). Por tal razón, se decidió hacer un estudio de la influencia de combinaciones de las temperaturas del secador.

Se seleccionó un diseño de superficie de respuesta con un modelo factorial de tres niveles para dos factores: temperaturas de entrada y salida del aire, donde se tomaron como variables respuestas: rendimiento, retención de ácido ascórbico y tiempo de disolución. El programa de los experimentos evaluados y las respuestas aparecen en la Tabla 1, mientras que en la Tabla 2 aparecen los modelos codificados del diseño experimental.

Los modelos obtenidos para las tres variables de respuesta fueron altamente significativos ($p \leq 0,001$) y en todos los casos la falta de ajuste no fue significativa, por lo que los modelos pueden ser utilizados para representar el comportamiento de estas variables de respuesta.

Tabla 1. Matriz del diseño experimental

Corrida	T _E (°C)	T _S (°C)	Rendimiento (%)	Retención de	
				ácido ascórbico (%)	Tiempo de disolución (s)
1	180 [+1]	85 [+1]	46,8	77,8	90
2	160 [0]	80 [0]	71,6	83,0	66
3	180 [+1]	75 [-1]	41,6	76,3	86
4	140 [-1]	80 [0]	60,4	83,7	73
5	160 [0]	80 [0]	69,6	83,6	62
6	180 [+1]	80 [0]	50,7	75,9	75
7	160 [0]	85 [+1]	76,0	82,6	70
8	140 [-1]	85 [+1]	61,5	81,6	74
9	160 [0]	80 [0]	73,5	80,5	64
10	160 [0]	75 [-1]	70,1	79,3	71
11	160 [0]	80 [0]	74,3	81,0	68
12	140 [-1]	75 [-1]	54,1	80,9	76

T_E: temperatura de entrada del aire; T_S: temperatura de salida del aire.

Tabla 2. Modelos codificados del diseño experimental

	Rendimiento	Retención de ácido ascórbico	Tiempo de disolución
Intercepto	73,14	81,95	64,67
X _E	-6,15***	-2,70***	4,67**
X _S	3,08**	0,92	0,17
X _E ²	-19,37***	-2,01	10***
X _S ²	-1,87	-0,86	6,5**
X _E X _S	-0,55	0,20	1,5
R ²	0,97	0,84	0,91
F modelo	47,93***	6,23*	12,99***
F falta de ajuste	2,59	0,66	0,98

X_E: temperatura de entrada X_S: temperatura de salida

*Valor significativo para p ≤ 0,05

**Valor significativo para p ≤ 0,01

***Valor significativo para p ≤ 0,001

En el modelo obtenido para el rendimiento, la temperatura del aire de entrada (X_E), la temperatura del aire de salida (X_S) y el término cuadrático de la temperatura de entrada resultaron significativas. El coeficiente del término lineal de la temperatura de entrada del aire dio con signo negativo, mientras que el de salida resultó con signo positivo, por lo que puede afirmarse que una disminución de la temperatura de entrada y un aumento de la temperatura de salida favorecieron el incremento del rendimiento. El factor de interacción entre las temperaturas de entrada y salida (X_EX_S) resultó no significativo.

El hecho de que la temperatura de entrada del aire esté directamente relacionada con el rendimiento puede deberse a que como es un proceso de transferencia de calor y de masa (el aire transfiere calor por convección a la gota de líquido y la gota transfiere masa que es el agua). Al elevarse la temperatura de entrada del aire se favorece que la evaporación del agua sea más rápida con la consiguiente formación de la microcápsula (16). En el caso del secado de jugos, la temperatura de entrada no debe ser tan alta pues estos productos contienen azúcares que poseen bajas T_g. Cuando las temperaturas son muy altas el polvo tiende

a aglomerarse por la fusión del mismo, lo que provoca la disminución del rendimiento (17). Al aumentar la temperatura de salida disminuye el flujo de alimentación al sistema y por tanto habrá una menor incorporación de agua al sistema por lo que el producto queda más seco y no se apelmaza en las paredes del secador.

La retención de ácido ascórbico es un factor importante en el proceso de secado, pues es el principal nutriente del jugo de naranja y es un indicador del daño térmico. Por esta razón, se incluyó como variable de respuesta en la investigación.

En el modelo obtenido para la retención de ácido ascórbico fue significativo el término lineal de la temperatura del aire de entrada (X_E). El coeficiente del término lineal X_E resultó con signo negativo, por lo que puede afirmarse que una disminución de la temperatura de entrada favorece la retención de ácido ascórbico. La temperatura del aire no puede ser muy alta pues causa daño térmico al componente activo. Por lo general, las mayores pérdidas de componentes termolábiles se producen durante el primer minuto de secado, la velocidad de evaporación disminuye debido a la formación de una membrana selectiva en la superficie de la partícula. Una vez que se forma la membrana alrededor de la gota el componente activo queda protegido por el soporte y nunca llega a alcanzar la temperatura de salida, es por esto que la misma no tuvo ninguna influencia en la retención.

El tiempo de disolución es una variable que debe estudiarse pues es importante que el producto se disuelva rápidamente para lograr la liberación de la matriz en menor tiempo. En el modelo obtenido para el tiempo de disolución fueron significativos los términos temperatura del aire de entrada (X_E) y su término cuadrático (X_E^2) con signo positivo, así como el término cuadrático de la temperatura de salida (X_S^2). Se aprecia que el

menor tiempo es una medida de una mayor solubilidad del producto deshidratado. La solubilidad se incrementó con el aumento de la temperatura del aire de entrada. Esto se debe al efecto de este parámetro en el contenido residual de humedad. A medida que es más baja la humedad del producto deshidratado, este será más soluble pues presentará una mayor capacidad de absorción de agua. Además, el incremento de la temperatura del aire de entrada generalmente produce un aumento del tamaño de partícula (18) y de esta forma, una disminución del tiempo requerido para disolverla. Resultados similares fueron encontrados en el secado de pasta de tomate (8).

Una vez comprobados el buen ajuste y adecuación de los tres modelos se procedió a la optimización de las variables de respuesta: rendimiento, retención de ácido ascórbico y tiempo de disolución. Del gráfico de contorno, el punto definido por la temperatura del aire de entrada de 153,9 °C y temperatura del aire de salida de 81,3 °C fue sugerido como el más adecuado para la deshidratación del jugo de naranja. En este punto se obtuvo un valor de 0,91 para la función objetivo (*desirability function*) de un máximo posible de uno.

CONCLUSIONES

Se logró un óptimo con temperaturas del aire de entrada y salida de 154 °C y 81 °C, respectivamente, para la deshidratación del jugo de naranja mediante secado por atomización. Con esta combinación se obtuvo un producto con 74,0 % de rendimiento; 82,8 % de retención de ácido ascórbico; 1,37 de cohesividad; 21,35 g/100 g de sólidos de higroscopicidad y 64 s para el tiempo de disolución. Se determinó que el jugo deshidratado de naranja obtenido según los parámetros optimizados es de una alta calidad sensorial para su empleo como saborizante.

REFERENCIAS

1. Reineccius, G.A. Flavor Chemistry and Technology. Boca Raton, FL., CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006.
2. Phisut, N. Int. Food Res. J. 19(4):1297-1306, 2012.
3. Candelas, M.; Alanis, M. y del Río, F. Rev. Mex. Agroneg. 10(19):299-307, 2006.
4. Cano-Chauca, M.; Stringheta, P.C.; Ramos, A.M. y Cal-Vidal, J. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 6:420-428, 2005.
5. Yousefi, S.; Emam-Djomeh, Z. y Mousavi, M.S. J. Food Sci. Technol. 48:677-684, 2011.
6. Ensminger, A.H.; Ensminger, M.E.; Konlande, J.E. y Robson, J.R.K. *Foods & Nutrition Encyclopedia*. Boca Raton, FL., CRC Press, 1993, pp. 1689-1692.
7. AOAC. Official Methods of Analysis. 18th ed., Gaithersburg, MD, Association of Official Analytical Chemists, 2006.

8. Goula, A.M. y Adamopoulos K.G. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 11:342-351, 2010.
9. Jinapong, N.; Suphantharika, M. y Jamnong P. *J. Food Eng.* 84:194-205, 2008.
10. Goula, A.M.; Adamopoulos, K.G. y Kazakis N.A. *Drying Technol.* 22:1129-1151, 2004.
11. Tonon, V.R.; Brabet, C.; Pallet, D.; Brat, P. y Hubinger, D.M. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44:1950-1958, 2009.
12. Espinosa, J. *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. La Habana, Editorial Universitaria, 2007.
13. Risch, S.J. y Reineccius, G.A. Spray-dried orange oil: Effect of emulsion size on flavor retention and shelf stability. En: *Flavor Encapsulation*. ACS Symp. Ser. 370. Risch S.J. y Reineccius G.A. (Eds.), Washington DC, American Chemical Society, 1988, pp. 67-77.
14. Rosenberg, M.; Kopelman, I.J. y Talmon, Y. *J. Agric. Food Chem.* 38:1288-1294, 1990.
15. Reineccius, G.A. *Drying Technol.* 22:1289-1324, 2004.
16. Shiga, H.; Yoshii, H.; Ohe, H.; Yasuda, M.; Furuta, T.; Kuwahara, H.; Ohkawara, M. y Linko, P. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 68(1):68-71, 2004.
17. Chegini, R.G. y Ghobadian, B. *World J. Agric. Sci.* 3:230-236, 2007.
18. Walton, D.E. *Drying Technol.* 18:1943-1986, 2000.