

OPTIMIZACIÓN DEL SECADO POR ASPERSIÓN DE JUGO CONCENTRADO DE NARANJA

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

Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Carr. al Guatao km 3 ½, La Habana, Cuba, C.P. 19200.

E-mail: yojansel@iiaa.edu.cu

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue obtener un producto deshidratado mediante secado por aspersión del jugo concentrado de naranja, con buena aceptación, para su empleo como saborizante. A través de las técnicas de superficie de respuesta se usó un modelo de diseño factorial 3² para la optimización de la temperatura del aire de entrada y contenido de maltodextrina. El soporte utilizado fue maltodextrina DE 12 (relación m/m de sólidos jugo/soporte 1:1,5; 1:2,08 y 1:3, respectivamente). Las variables de respuesta para la optimización fueron rendimiento, retención de ácido ascórbico, humedad y rehidratación. El rendimiento y retención de ácido ascórbico se maximizaron, mientras que la humedad y la rehidratación se minimizaron, para calcular los valores óptimos. Se obtuvo un óptimo con una temperatura de entrada de 155 °C y 74 % m/m de contenido de maltodextrina. Con esta combinación se logró un producto con 77 % de rendimiento; 3,8 % de humedad; 89,6 % de retención de ácido ascórbico, 64 s para la rehidratación y 10 µm de diámetro medio de partícula. El producto deshidratado fue de buena calidad para su empleo como saborizante.

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

ABSTRACT

Optimization of spray drying for orange juice concentrate

The aim of this paper was to obtain a dehydrated product by spray drying of orange juice concentrate, with good acceptability, for using as flavoring. With the aid of response surface methodology a 3² factorial model was used for the optimization of the air inlet temperature and maltodextrin content. Maltodextrin DE 12 (juice/support solids w/w ratio of 1:1.5, 1:2.08 and 1:3, respectively) was used as support. Yield, ascorbic acid retention, moisture and rehydration were used as response variables. Yield and ascorbic acid retention were maximized, while moisture and rehydration were minimized to calculate the optimal values. An optimal point was obtained at the air inlet temperature of 155 °C and 74 % w/w maltodextrin content. Using this combination a product with 77 % yield, 3.8 % moisture, 89.6 % ascorbic acid retention, 64 s for rehydration and 10 µm particle mean diameter. The dehydrated product had a good quality for using as flavoring.

Keywords: orange juice, spray drying, optimization.

INTRODUCCIÓN

Con el rápido desarrollo económico ha cambiado la tendencia del consumo de alimentos saborizados artificialmente al enriquecimiento nutricional de la dieta. Los consumidores hoy son bien conscientes de la importancia de las vitaminas. Este escenario ha incrementado la demanda del mercado global hacia los saborizantes a partir de jugos de frutas. El secado por aspersión es uno de los métodos más empleados para deshidratar alimentos y prolongar su vida útil (1). La reducción de la humedad y la actividad de agua en las frutas siempre es deseable para mantener la calidad. Los jugos de frutas deshidratados poseen muchos beneficios y potencial económico sobre su variante líquida,

***Yojhansel Aragüez Fortes:** *Licenciado en Ciencias Alimentarias (IFAL, 2013). Master en Ciencias Alimentarias (IFAL, 2016). Es investigador del Dpto. de Aromas. Sus principales líneas de trabajo son la microencapsulación de saborizantes y obtención de productos naturales.*

tales como la reducción del volumen, reducción del envase, facilidad de manipulación y transportación, así como una mayor vida de anaquel (2). Además, pueden ser utilizados como saborizantes naturales. Por otra parte, cuando se requiere mezclar jugos de frutas con otros ingredientes secos, es imprescindible tener el jugo deshidratado para poder realizar la mezcla física. Es muy importante estudiar la influencia de la temperatura del aire de entrada y el contenido de soporte a utilizar en el secado por aspersión, ya que estos influyen en la calidad del producto deshidratado (3).

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 (T_g) del producto seco. El uso de soportes tales como maltodextrinas, goma arábica, almidones, celulosa cristalina y proteínas influyen las propiedades y estabilidad del producto seco. Los soportes más usados para jugos de frutas son las maltodextrinas y la goma arábica (4, 5).

En un trabajo anterior se estudió en las corridas experimentales el efecto de las temperaturas del aire de entrada y salida, pero no se evaluó el contenido de maltodextrina (6). Por todo lo anterior, el objetivo general de este trabajo fue obtener un jugo deshidratado de naranja mediante secado por aspersión, con buena aceptación, para su empleo como saborizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó jugo concentrado de naranja (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) de procedencia nacional. Para reforzar el sabor del jugo concentrado se adicionó una esencia alcohólica al 70 % obtenida a partir de aceite esencial de naranja exprimido en frío y producida en el IIIA. Se usó como soporte maltodextrina DE 12 (IMSA, Guadalajara, México), (relación m/m de sólidos jugo/soporte 1:1,5; 1:2,08 y 1:3,0; respectivamente). Como anti-aglomerante del producto seco se usó fosfato tricálcico (Amfher Foods, México D.F.) al 0,08 % m/m en la mezcla a secar y agua destilada para preparar las mezclas.

Para cada secado se prepararon 3 kg de mezcla en un tanque con agitación mecánica. La matriz (jugo de naranja + esencia + soporte + agua + fosfato tricálcico) se alimentó a un secador por atomización Niro Production Minor (Niro Atomizer Ltd., Columbia, EE.UU.) de dis-

co centrífugo ($2 \times 10^4 \text{ min}^{-1}$). Se evaluaron la temperatura del aire de entrada entre 130 y 170 °C, así como el contenido de maltodextrina en concentraciones de 60,0; 67,5 y 75,0 % m/m en base a los sólidos de jugo y maltodextrina. La temperatura del aire de salida se fijó en 75 ($S = 5 \text{ °C}$); valor seleccionado de acuerdo a la bibliografía (5, 6).

Se hicieron determinaciones de sólidos solubles por refractometría, acidez por valoración con NaOH 0,1 N y contenido de ácido ascórbico al jugo concentrado (7). La determinación de sacarosa y reductores libres se realizó a partir cromatografía líquida de alta resolución en un cromatógrafo YL9100 (YL Instrument Co. Ltd., Corea) con detector de índice de refracción, columna Carbosep COREGEL 87C (300 mm x 7,8 mm, 9 μm tamaño de partícula) (Transgenomic Inc., Omaha, EE.UU.) y similar precolumna a 85 °C. La fase móvil fue agua ultra pura a 0,6 mL/min (isocrática) y 5 400 kPa, mientras que el volumen de inyección fue 20 μL . 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). 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 (8).

Al producto deshidratado se le determinaron contenido de ácido ascórbico (7), humedad mediante un analizador de humedad Sartorius mod. MA35 (Goettingen, Alemania) y rehidratación (2).

La distribución del tamaño de partícula del polvo se realizó por microscopía electrónica de barrido. La muestra fue adherida al porta-objetos mediante cinta adhesiva de doble cara y fue cubierta por rociado con oro-paladio. Se examinó en un microscopio electrónico de barrido Tescam 5130 SB (Praga, República Checa) a un voltaje de aceleración de 10 kV y un aumento de 600 \times . El tamaño promedio de partícula fue determinado como ha sido reportado antes (9).

El producto deshidratado con los parámetros optimizados se evaluó sensorialmente en una gelatina, constituida por 900 g de azúcar refino, 100 g de gelatina, 24 g de ácido cítrico anhidro y 0,3 g de amarillo

tartrazina, todos de calidad alimentaria. A 400 g de esta mezcla base se le adicionaron 30 g del saborizante seco y se disolvieron en 1 L de agua tratada. Con la gelatina se realizó una prueba sensorial de aceptación con una escala hedónica 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 (10).

La optimización de la temperatura del aire de entrada y contenido de maltodextrina se realizó mediante las técnicas de superficie de respuesta. Se utilizó un modelo 3^2 , lo que equivale a dos factores con tres niveles. Las variables de respuesta para la optimización fueron rendimiento, retención de ácido ascórbico, humedad y rehidratación. El rendimiento y retención de ácido ascórbico se maximizaron, mientras que la humedad y la rehidratación se minimizaron, 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 mayoría de los estudios reportados sobre el efecto de la temperatura del aire de entrada y contenido de soporte en el secado del jugo de naranja se ha basado en combinaciones puntuales de ellas sin considerar su interacción, ni la optimización (2, 11-14), con excepción de un solo trabajo (6). Las técnicas de superficie

de respuesta son una metodología estadística que permiten determinar, experimentalmente, aquellos niveles de los factores en investigación que producen una respuesta óptima (15).

Todos los modelos para las variables de respuesta fueron significativos y la falta de ajuste no fue significativa, por lo que los modelos pueden ser utilizados para representar el comportamiento de estas variables de respuesta. 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. Debe señalarse que los productos secos obtenidos en todas las corridas experimentales fueron evaluados por varios catadores habituales de la Planta de Aromas y en ninguna experiencia se detectaron defectos sensoriales, lo que indica que por el proceso de secado no se perdieron la pureza y armonía del aroma y sabor de la composición compleja que posee el jugo de naranja.

En el modelo para el rendimiento solo resultaron significativos los términos lineal y cuadrático del contenido de maltodextrina (X_{MD}) y la interacción ($X_T X_{MD}$). El coeficiente del término lineal del contenido de maltodextrina fue positivo, por lo que puede afirmarse que un aumento del contenido de soporte favoreció el incremento del rendimiento. Por otra parte, la interacción dio con signo positivo por lo que, de acuerdo al análisis de signos, puede afirmarse que un incremento de la temperatura del aire de entrada también benefició al rendimiento.

Tabla 1. Matriz experimental para el secado del jugo concentrado de naranja

Corrida	T (°C)	MD (%) m/m)	Rendimiento (%)	Humedad (% m/m)	Retención de ácido ascórbico (%)	Rehidratación (s)
1	130	60,0	51,0	4,69	73,2	87,0
2	130	67,5	69,8	4,60	77,4	62,0
3	130	75,0	70,9	4,01	83,1	65,0
4	150	60,0	44,2	4,35	84,1	83,0
5	150	67,5	66,5	4,35	89,5	65,0
6	150	67,5	70,1	3,92	89,6	64,0
7	150	67,5	67,2	3,96	87,3	62,0
8	150	67,5	64,5	3,93	88,0	67,0
9	150	75,0	80,6	3,86	89,0	62,0
10	170	60,0	34,0	3,84	79,3	82,0
11	170	67,5	69,1	3,87	81,7	64,0
12	170	75,0	75,1	3,63	82,5	65,0

T: temperatura del aire de entrada; MD: contenido de maltodextrina.

Tabla 2. Modelos codificados del diseño experimental para el secado del jugo concentrado de naranja

	Rendimiento	Humedad	Rehidratación	Retención de ácido ascórbico
Intercepto	68,25	4,08	63,88	88,27
X _T	-2,25	-0,33**	-0,50	1,63*
X _{MD}	16,23***	-0,23*	-10,00***	3,00***
X _T ²	-1,14	0,07	0,38	-8,04***
X _{MD} ²	-8,19*	-0,06	9,88***	-1,04
X _T X _{MD}	5,30*	0,12	1,25	-1,67*
R ²	0,96	0,85	0,97	0,97
F modelo	32,70***	6,93*	36,48***	42,25***
F falta de ajuste	2,59	1,67	2,34	0,66

T: temperatura del aire de entrada; MD: contenido de maltodextrina.

*Valor significativo para p≤0,05

**Valor significativo para p≤0,01

***Valor significativo para p≤0,001

El incremento de la concentración del soporte aumentó significativamente el rendimiento del proceso. Esta relación directa se debe al incremento de los valores T_g de las fracciones amorfas en las mezclas que son ricas en componentes de bajo T_g. Este resultado coincide con otros reportes (13, 16).

La humedad de los productos estuvo en el rango de 3,63 a 4,69 % m/m, similar a las reportadas para el secado por aspersión del jugo concentrado de naranja (4,3 a 4,5 % m/m) (13) y (1,9 a 7,0 % m/m) (2). Un aumento de la temperatura del aire de entrada favoreció una disminución de la humedad. A mayor diferencia de temperatura entre el aire de secado y las microgotas, mayor será la velocidad de transferencia de calor dentro de ellas, lo que proporciona la fuerza conductora para la extracción de la humedad. A medida que el agua es conducida a través de la microgota en forma de vapor, esta debe ser llevada lejos o la propia humedad creará una atmósfera saturada en la superficie de la partícula. Esto causará la eliminación del vapor de agua. A mayor temperatura del aire, este podrá retener mayor humedad antes de su completa saturación (17).

Un incremento del contenido de maltodextrina causó una disminución del contenido de humedad. Esto se debe a que la adición de soporte incrementa el contenido de sólidos totales de la mezcla de alimentación y reduce la cantidad de agua a evaporar (13, 14).

En el modelo obtenido para la retención de ácido ascórbico fueron significativos los términos lineales de la temperatura del aire de entrada y del contenido de

maltodextrina, el término cuadrático de la temperatura del aire de entrada y la interacción de los dos factores. El coeficiente positivo del término lineal para la temperatura del aire de entrada indica que la retención del ácido ascórbico se incrementó con este factor, pero el coeficiente del término cuadrático es cinco veces mayor, por lo que hay una curvatura en la superficie de contorno. A mayor temperatura del aire de entrada ocurre una mayor transferencia de calor y masas con el consiguiente aumento de la velocidad de evaporación y menos posibilidad de daño a las sustancias termolábiles (18).

El coeficiente del término lineal del contenido de maltodextrina fue positivo, lo que indica una relación directa de esta variable de respuesta. Este efecto puede ser atribuido al aumento de la eficiencia de encapsulación por la matriz con el soporte (19).

La rehidratación 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 la rehidratación el factor temperatura del aire de entrada no fue significativo, ni su interacción, sin embargo, los términos lineal y cuadrático del contenido de maltodextrina fueron significativos. El coeficiente del término lineal fue negativo, lo que indica una relación inversa de esta variable de respuesta. Por tanto, a mayor contenido del soporte habrá una mayor solubilidad, como han informado otros autores (2, 14), los que atribuyeron este efecto a la relativa alta solubilidad en agua de la maltodextrina (20).

Una vez comprobados el buen ajuste y adecuación de los cuatro modelos se procedió a la optimización de las variables de respuesta: rendimiento, humedad, retención de ácido ascórbico y rehidratación.

La Fig. 1 presenta el gráfico de contorno, donde el punto definido por la temperatura del aire de entrada de 155 °C y contenido de maltodextrina de 74 % m/m fue sugerido como el óptimo para la deshidratación del jugo de naranja en el intervalo estudiado. En este punto se obtuvo un valor de 0,94 para la función conveniencia (*desirability function*) de un máximo posible de uno.

El jugo deshidratado con los parámetros optimizados se evaluó sensorialmente en una gelatina (Fig. 2). El tamaño de partícula adecuado del producto deshidratado y su baja humedad permitieron una buena operación de mezclado con los otros ingredientes secos. El resultado de la prueba indicó que el 61 % en la clasificación de - me gusta mucho y el 39 % de los encuestados coincidieron en la categoría de me gusta, por lo que puede ser considerado como un producto con potencial para su comercialización.

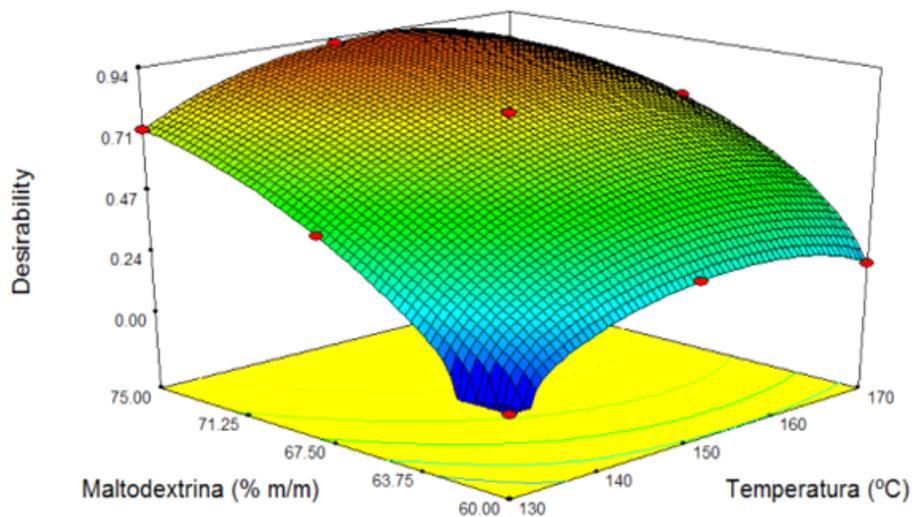


Fig. 1. Gráfico de optimización del proceso.

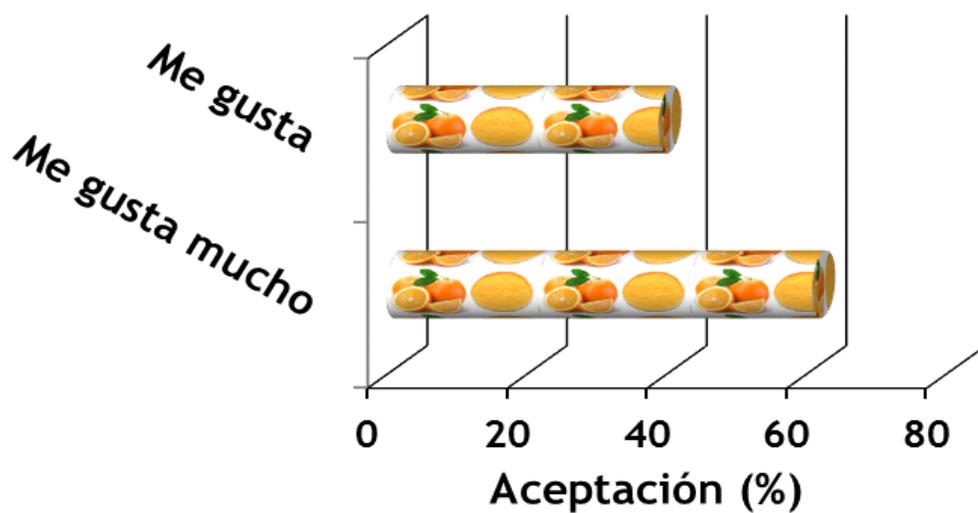


Fig. 2. Gráfico de aceptación de la evaluación sensorial del producto.

CONCLUSIONES

Se logró un óptimo con temperatura del aire de entrada de 155 °C y 74 % m/m de maltodextrina para el secado por aspersión del jugo concentrado de naranja. Con esta combinación se obtuvo un producto con 77 % de rendimiento; 3,8 % de humedad; 89,6 % de retención de ácido ascórbico, 64 s para la rehidratación y 10 µm de diámetro medio de partícula. Se determinó que el jugo deshidratado de naranja obtenido con los parámetros optimizados es de buena calidad sensorial para su uso como saborizante.

REFERENCIAS

1. Reineccius, G. A. *Flavor Chemistry and Technology*. Boca Raton, FL, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006.
2. Goula, A. M. y Adamopoulos K. G. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 11:342-351, 2010.
3. Bringas, M.; Pino, J. A. y Aragüez, Y. *Cienc. Tecnol. Alim.* 24 (3):67-72, 2014.
4. Yousefi, S.; Emam-Djomeh, Z. y Mousavi, M. S. J. *Food Sci. Technol.* 48:677-684, 2011.
5. Phisut, N. *Int. Food Res. J.* 19(4):1297-1306, 2012.
6. Bringas, M.; Aragüez, Y.; Pino, J.A.; Gálvez, M. y Roncal, E. *Cienc. Tecnol. Alim.* 25(2):60-65, 2015.
7. AOAC. *Official Methods of Analysis*. 18 ed. Gaithersburg, MD, Association of Official Analytical Chemists, 2006.
8. Bringas, M.; Expósito, I. y Pino, J. A. *Cienc. Tecnol. Alim.* 23(1):49-54, 2013.
9. Soottitawat, A.; Bigeard, F.; Yoshii, H.; Furuta, T.; Ohkawara, M. y Linko, P. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 6:107-114, 2005.
10. Espinosa, J. *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. La Habana, Editorial Universitaria, 2007.
11. Chegini, R. G. y Ghobadian, B. *Drying Technol.* 23:657-668, 2005.
12. Chegini, R. G. y Ghobadian, B. *World J. Agric. Sci.* 3:230-236, 2007.
13. Shrestha, A. K.; Ua-arak, T.; Aghikari, B. y Bhandari, B. *Int. J. Food Prop.* 10:661-673, 2007.
14. Islam, M. Z.; Kitamura, Y.; Yamano, Y. y Kitamura, M. *J. Food Eng.* 169:131-140, 2016.
15. Montgomery, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. 5 ed. New York, NY, John Wiley and Sons, Inc., 2001.
16. Papadakis, S. E.; Gardeli, C. y Tzia, C. *Drying Technol.* 24:173-180, 2006.
17. Reineccius, G.A. *Drying Technol.* 22: 1289-1324, 2004.
18. Cuevas-Glory, L.; Bringas-Lantigua, M.; Sauri-Duch, E.; Sosa-Moguel, O.; Pino, J. y Loría-Sunsa, H. 46(1):17-26, 2017.
19. Uddin, M. S.; Hawlader, M. N. y Zhu, H. J. *J. Microencapsul.* 18:199-209, 2001.
20. Cano-Chauca, M.; Stringheta, P. C.; Ramos, A. M. y Cal-Vidal, J. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 6:420-428, 2005.