

## **INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PULPA DE ACEROLA SECADA POR ASPERSIÓN**

Yojhansel Aragüez-Fortes<sup>1</sup>, Jorge A. Pino<sup>1,2\*</sup> y Laura M. Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Carretera al Guatao km 3½, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de La Habana. Calle 222 No. 2317, CP 13600, La Habana, Cuba.

E-mail: jpino@iiaa.edu.cu

Recibido: 04-11-2019/Revisado: 12-11-2019/Aceptado: 25-11-2019/Publicado: 13-01-2020

### **RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia de las condiciones del proceso en algunas propiedades físicas de la pulpa de acerola secada por aspersión. La temperatura del aire de entrada y la concentración de maltodextrina tuvieron efectos significativos en la rehidratación, densidad bruta e higroscopicidad de la pulpa deshidratada de acerola. Se encontró que el aumento de la temperatura del aire de entrada causó una reducción en las tres propiedades físicas. Un aumento en el contenido de maltodextrina incrementó la densidad bruta, con una disminución en la rehidratación e higroscopicidad. Los efectos de los parámetros del proceso en las propiedades físicas del polvo de acerola fueron comparables con los resultados informados para otros jugos de frutas secados por aspersión.

**Palabras clave:** acerola, secado por aspersión, propiedades físicas, temperatura del aire de entrada, maltodextrina.

### **ABSTRACT**

#### **Influence of process conditions on the physical properties of spray dried acerola powder**

The objective of the present work was to evaluate the influence of the process conditions in some physical properties of by spray dried acerola powder. The inlet air temperature maltodextrin content had significant effects in the rehydration, gross density and hygrosopicity of the dehydrated acerola pulp. It was found that the increase of the inlet air temperature caused a reduction in the three physical properties. An increase in the maltodextrin content increased gross density, with a decrease in rehydration and hygrosopicity. The effects of the process parameters in the physical properties of acerola powder were comparable with the reported results for other spray dried fruit juices.

**Keywords:** acerola, spray drying, physical properties, inlet air temperature, maltodextrin.

### **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, la industria alimentaria ha incrementado apreciablemente la elaboración de productos naturales debido a la demanda de los consumidores en reducir el uso de aditivos sintéticos con posibles riesgos para la salud. La mayoría de las frutas tropicales poseen colores y sabores intensos que las hacen candidatas como fuente de nuevos y diversos aditivos. Por tanto, es un reto para la industria alimentaria

---

**\*Jorge A. Pino-Alea:** Licenciado en Química (Universidad de La Habana, 1975). Investigador Titular y miembro de la Academia de Ciencias de Cuba. Doctor en Ciencias Técnicas (Centro Nacional de Investigaciones Científicas, 1980) y Doctor en Ciencias (Instituto de Farmacia y Alimentos, 2011). Desarrolla sus investigaciones principalmente en la química analítica y tecnología de aromas de alimentos y aceites esenciales.

el desarrollo de procesos y productos que proporcionen la mejor alternativa, seguridad, beneficios y satisfacción al consumidor.

La acerola (*Malpighia emarginata* DC) es una fruta tropical, de forma redondeada, cuya pulpa es carnosa y succulenta, recubierta por una cáscara delgada. Al principio es de color verde intenso, con la maduración cambia a amarillo rojizo y finalmente, a rojo o púrpura cuando está completamente madura (1). Su característica principal es el alto contenido de vitamina C, que puede alcanzar hasta 4 g/100 g (2), aunque también es rica en otros nutrientes, tales como carotenos, tiamina, riboflavina y sales minerales (1, 3-5). El consumo de la fruta fresca es limitado debido a que es muy perecedera. Sin embargo, posee un rendimiento bueno en pulpa, lo que favorece su procesamiento; no obstante, representa un desafío la preservación de sus constituyentes nutricionales.

La presentación de nuevos formatos de consumo de esta fruta podría incidir en la prolongación de su vida útil y en el establecimiento de nuevas alternativas que incrementen su consumo y, por lo tanto, acercar sus propiedades beneficiosas a los consumidores (6). Con este fin, uno de los procesos más utilizados en la industria alimentaria es la deshidratación (7). Con esta técnica se confiere al producto una mayor estabilidad, menor volumen y facilidad de transportación (8, 9). Dentro de estas técnicas, el secado por aspersión es una de las más comunes y conserva las propiedades originales del producto (10).

Uno de los principales inconvenientes de la deshidratación de derivados de frutas es la aglomeración del producto durante y después del proceso, debido a que son matrices ricas en azúcares y ácidos orgánicos (11). En este sentido, es necesario optimizar los parámetros de operación y considerar la adición de hidrocoloides que minimicen esta desventaja (12).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia de las condiciones del proceso en algunas propiedades físicas de la pulpa de acerola secada por aspersión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron frutas, en estado de madurez fisiológica, de una plantación comercial en Alquízar, que fueron lavadas con hipoclorito de sodio (2 ppm) y posterior

enjuague con agua potable. La fruta fue triturada en un molino coloidal JM 60 (QIANGDI, Shangai) a 3 500 min<sup>-1</sup> y pasada por un refinador de malla de 1,2 mm de diámetro. La pulpa fue trasvasada a una marmita con agitación continua hasta alcanzar 95 °C durante 10 min a partir de la ebullición. Esta se envasó en caliente, en cubetas plásticas de polietileno y se enfrió rápidamente. La pulpa se almacenó a -5 °C. Se le hicieron determinaciones de sólidos solubles refractométricos, acidez y valor de pH (13), humedad en un analizador de humedad Sartorius mod. MA35 (Goettingen, Alemania) a 105 °C, ácido ascórbico por valoración redox con solución de 2,6-diclorofenolindofenol (13). Además, se analizó el contenido de sacarosa, glucosa y fructosa por cromatografía líquida de alta presión 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) a 5 400 kPa. Para la cuantificación se hicieron curvas patrones con cada uno de los azúcares. Las determinaciones se hicieron por triplicado (14). La Tabla 1 muestra las características de la pulpa.

Como soporte para el secado se usó MD 10 DE con 5,4 % m/m de humedad (IMSA, Guadalajara, México), en concentraciones de 50,0; 58,4 y 66,7 % m/m en base a los sólidos solubles de la pulpa. Esto equivale a una mezcla pulpa/soporte en una relación m/m de sólidos de 1:1, 1:1,5 y 1:2, respectivamente. Se empleó agua suavizada para preparar las mezclas, las que se pasaron por un tamiz con perforaciones de 0,6 mm.

Las experiencias se hicieron en un secador por atomización, a escala de laboratorio, SD-05 (LabPlant Ltd., Huddersfield, R.U.). Los parámetros del secador fueron: velocidad de evaporación del agua 1,0 kg/h, temperatura de alimentación de la mezcla 20 °C, velocidad de flujo de alimentación de la mezcla 0,52 L/h; atomizador con abertura de 0,75 mm; velocidad de flujo del aire de secado 63 m<sup>3</sup>/h y velocidad de flujo del aspirador 43 m<sup>3</sup>/h. Se evaluaron temperaturas del aire de entrada entre 130 y 170 °C y la TAS se mantuvo entre 70 y 80 °C. Las corridas experimentales fueron de 200 g de matriz de alimentación. Los productos deshidratados se envasaron en bolsas de polietileno que se colocaron en una desecadora hasta su análisis.

**Tabla 1. Características de la pulpa de acerola**

Indicador	Media	Desviación estándar
Sólidos refractométricos (°Brix)	6,0	0,2
Acidez (g/100 g, como ácido cítrico)	0,60	0,03
pH	3,4	0,01
Humedad (g/100 g)	86,7	0,1
Ácido ascórbico (mg/100 g)	667,8	0,2
Sacarosa (g/100 g)	0,6	0,1
Glucosa (g/100 g)	1,8	0,1
Fructosa (g/100 g)	1,7	0,1

A los productos deshidratados se le determinaron la rehidratación (15), densidad bruta (16) e higroscopicidad (17).

A partir de la metodología de superficie de respuesta (18) se utilizó un modelo de diseño factorial de tres niveles (modelo 3<sup>2</sup>), lo que equivale a dos factores con tres niveles. Los factores fueron temperatura del aire de entrada y contenido de maltodextrina en base a los sólidos solubles de la pulpa, mientras que las variables de respuesta fueron rehidratación, densidad bruta e higroscopicidad. La adecuación de los modelos se evaluó mediante la prueba *F*-Fisher. Los resultados se procesaron con el programa Design-Expert ver. 8.0.6 del 2010 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la matriz experimental del diseño de superficie de respuesta (Tabla 2) se obtuvo un modelo polinomial de segundo orden que fue usado para expresar cada variable de respuesta como una función de las variables independientes:

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_T + B_2 \cdot X_M + B_{11} \cdot X_T^2 + B_{22} \cdot X_M^2 + B_{12} \cdot X_T \cdot X_M$$

Donde *Y*: variable de respuesta, *B*<sub>0</sub>: constante del modelo; *B*<sub>1</sub>, *B*<sub>2</sub>, *B*<sub>11</sub>, *B*<sub>22</sub> y *B*<sub>12</sub>: coeficientes de regresión, *X*<sub>T</sub>: temperatura del de entrada aire codificada, *X*<sub>M</sub> contenido de maltodextrina.

**Tabla 2. Matriz experimental para el secado de pulpa de acerola**

Temperatura del aire de entrada (°C)	Maltodextrina (% m/m)	Rehidratación (s)	Densidad bruta (g/mL)	Higroscopicidad (g/100 g de sólidos)
130	50,0	81	0,5491	25,8
130	58,4	78	0,5506	23,5
130	66,7	75	0,5602	21,9
150	50,0	72	0,5513	25,8
150	58,4	71	0,5578	21,3
150	58,4	70	0,5585	22,5
150	58,4	72	0,5566	21,6
150	58,4	65	0,5520	22,1
150	66,7	68	0,5689	20,8
170	50,0	65	0,5120	21,5
170	58,4	61	0,5346	21,5
170	66,7	55	0,5598	20,8

La Tabla 3 presenta los resultados del diseño para los modelos codificados de la rehidratación, densidad bruta e higroscopicidad. Para los modelos de regresión cuadrática, el análisis demostró que el valor  $F$  de los modelos fue mayor que el valor de la tabla de Fisher, por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula y se concluyó que los modelos y las diferencias fueron significativas. La prueba para la falta de ajuste no dio significativa. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) fueron altos, pero pueden estar sobrevalorados artificialmente por la adición continuada de términos a los modelos, aunque no sean significativos. El  $R^2$  ajustado no se incrementa cuando términos no significativos son adicionados al modelo, mientras que el  $R^2$  predicho decrece cuando hay muchos términos no significativos. El  $R^2$  predicho de los modelos está de acuerdo con el valor de los  $R^2$  ajustados, pues la diferencia entre ambos está alrededor del 0,2 sugerido (19), con excepción del modelo de higroscopicidad donde parece haber términos no significativos.

La precisión adecuada, que mide la relación señal/ruido, fue en todos los casos muy superior al valor de cuatro aceptado (19). Por todo lo anterior, los modelos pueden considerarse adecuados para navegar en el espacio del diseño.

La rehidratación es una característica 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 de la rehidratación resultaron significativos los términos lineales y con un mayor «peso» el término de la temperatura del aire de entrada (Tabla 3). Ambos coeficientes fueron negativos, lo que indica una relación inversa.

En general, a mayores temperaturas de secado se han encontrado mayores solubilidades, debido al efecto de un menor contenido de humedad residual (9). Resultados similares fueron publicados para pulpas de otras frutas (20-23).

De acuerdo con el modelo de la rehidratación, a mayor contenido de soporte hubo una mayor rehidratación. Este comportamiento puede ser explicado por la solubilidad alta de la maltodextrina en agua (9). Diversos autores reportaron una tendencia similar (15, 17, 21, 23, 24).

La densidad es una propiedad física importante de los productos secos por razones económicas y funcionales. Esta es dependiente del tamaño, forma y propiedades superficiales de las partículas (10). Altas densidades son deseables para reducir costos de empaque y

**Tabla 3. Parámetros de los modelos codificados**

Parámetro	Rehidratación	Densidad bruta	Higroscopicidad
Intercepto	69,67	0,56	22,11
$X_T$	-8,83***	$-8,92 \times 10^{-3}$ ***	-1,23*
$X_M$	-3,33***	0,01***	-1,60***
$X_T^2$	-0,50	-0,01***	-0,087
$X_M^2$	0,00	$3,27 \times 10^{-3}$	0,71
$X_T X_M$	-1,00	$9,17 \times 10^{-3}$ ***	0,80
$F$ modelo	57,13***	36,90***	7,13*
$F$ falta de ajuste	1,27	1,96	4,66
$R^2$	0,979	0,968	0,856
$R^2$ ajustado	0,962	0,943	0,736
$R^2$ predicho	0,871	0,769	-0,123
Precisión adecuada	25,04	22,984	8,965

T: temperatura del aire de entrada, M: contenido de maltodextrina.

\*Valor significativo para  $p \leq 0,05$ , \*\*Valor significativo para  $p \leq 0,01$ .

\*\*\*Valor significativo para  $p \leq 0,001$ .

transportación, mientras que bajas densidades, como sucede con los productos aglomerados, influyen en otras propiedades del polvo como son la fluidez y disolución instantánea.

En el modelo de la densidad bruta resultaron significativos los términos lineales, el término cuadrático para la temperatura y la interacción (Tabla 3). El contenido de maltodextrina tuvo un mayor «peso» en la respuesta que el factor temperatura del aire de entrada.

El término lineal de la temperatura de secado fue negativo, por lo que su incremento causa una reducción de la densidad bruta, probablemente debido a que, a una mayor velocidad de evaporación, el producto seco queda con una estructura más porosa. Las partículas más grandes pueden estar huecas en su interior o ser porosas o poseer una estructura fragmentada debido a la velocidad de evaporación rápida del agua. En general, las partículas porosas o fragmentadas muestran una baja densidad de partícula, lo que conduce a una densidad bruta relativamente baja en comparación con las partículas finas (9). Resultados similares han sido informados para el secado por aspersión de otros jugos de frutas (15, 23, 25).

El signo positivo del término lineal para el contenido de maltodextrina revela que la densidad bruta aumenta a mayor contenido de soporte. Esta tendencia puede ser explicada por el incremento del contenido de sólidos totales en la matriz de alimentación (9). Diferentes autores reportaron un efecto similar (15, 26). Por el contrario, algunos estudios no encontraron una relación entre estas variables (25) y otros una relación inversa (23). Las diferencias en estos estudios pueden estar relacionadas al intervalo de temperaturas evaluadas, el soporte usado y otras características del producto.

La higroscopicidad se define como la habilidad de un producto para absorber la humedad ambiental. Es deseable lograr un producto deshidratado con baja higroscopicidad debido a que valores altos de esta propiedad significa una mayor tendencia a absorber agua y causa pegajosidad (10). Los valores de higroscopicidad determinados en este trabajo no deben ser considerados como valores absolutos, debido a que los polvos estuvieron expuestos a condiciones extremas. En cambio, el objetivo de este experimento fue evaluar las variaciones entre las muestras.

En el modelo de la higroscopicidad resultaron significativos los términos lineales, ambos con igual aporte al modelo (Tabla 3).

El término lineal de la temperatura del aire de entrada fue negativo, por lo que su aumento causa una reducción de la higroscopicidad. En relación con el efecto de la temperatura con la higroscopicidad del producto existen resultados controversiales, pues algunos autores plantearon una relación inversa (21, 24), otros informaron una relación directa (23, 27) y algunos no encontraron relación entre ambas variables (15).

El término lineal del contenido de soporte resultó negativo, por lo que un aumento de este factor causa una reducción de la higroscopicidad. Es conocido que las sustancias de baja masa molecular, como los azúcares simples y ácidos orgánicos presentes en los jugos de frutas, poseen más grupos hidrofílicos por lo que su higroscopicidad es alta (28). La maltodextrina tiene una alta masa molecular comparado con estas sustancias y posee una higroscopicidad relativamente baja. Por consiguiente, un aumento de su contenido decrece la capacidad de absorción de agua en los polvos, lo anterior es similar al reportado por otros autores (15). Este resultado confirma la eficiencia de la maltodextrina como material de soporte con baja higroscopicidad.

## CONCLUSIONES

La temperatura del aire de entrada y la concentración de maltodextrina tuvieron efectos significativos en la rehidratación, densidad bruta e higroscopicidad de la pulpa deshidratada de acerola. Se encontró que el aumento de la temperatura del aire de entrada causó una reducción en las tres propiedades físicas. Un aumento en el contenido de maltodextrina incrementó la densidad bruta, con una disminución en la rehidratación e higroscopicidad. Los efectos de los parámetros del proceso en las propiedades físicas del polvo de acerola fueron comparables con los resultados informados para otros jugos de frutas secados por aspersión.

## REFERENCIAS

1. Rondón-González M, Pino JA. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.): Composición, procesamiento y beneficios a la salud. *Cienc Tecnol Aliment* 2015; 25(2):66-73.
2. Mercali GD, Schwatz S, Ferreira-Marczak LD, Tessaro IC, Sasstry S. Ascorbic acid degradation and color changes in acerola pulp during ohmic heating: Effect of electric field frequency. *J Food Eng* 2014; 123:1-7.
3. Mezdari T, Villaño D, Fernández-Pachón MS, García-Parrilla MC, Troncoso AM. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives. *J Food Comp Anal* 2008; 21:282-90.
4. Freire JM, Abreu CMP de, Rocha DA, Corrêa AD, Marques NR. Quantificação de compostos fenólicos e ácido ascórbico em frutos e polpas congeladas de acerola, caju, goiaba e morango. *Ciencia Rural* 2013; 43(12):2291-6.
5. Ribeiro da Silva LM, Teixeira de Figueiredo EA, Silva-Ricardo NMP, Pinto-Vieira IG, Figueiredo RW de, Montenegro-Brasil I, Gomes CL. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chem* 2014; 143:398-404.
6. Pragati S, Preeti B. Technological revolution in drying of fruit and vegetables. *Int J Sci Res* 2014; 3(10):705-11.
7. Bringas-Lantigua M, Pino JA, Aragón-Fortes Y. Secado por atomización de jugos de frutas. *Cienc Tecnol Aliment* 2014; 24(3):67-71.
8. Barbosa J, Teixeira P. Development of probiotic fruit juice powders by spray drying: a review. *Food Rev Int* 2017; 33:335-58.
9. Tontul I, Topuz A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends Food Sci Technol* 2017; 63:91-102.
10. Shishir MRI, Chen W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends Food Sci Technol* 2017; 65:49-67.
11. Muzaffar K, Nayik GA, Kumar P. Stickiness problem associated with spray drying of sugar and acid rich foods: A mini review. *J Nutr Food Sci* 2015; S12:003. DOI: 10.4172/2155-9600.1000S12003.
12. Barbosa J, Teixeira P. Development of probiotic fruit juice powders by spray drying: a review. *Food Rev Int* 2017; 33:335-58.
13. AOAC. Official Methods of Analysis. 21<sup>th</sup> ed., Association of Official Analytical Chemist. Gaithersburg, Maryland, EE.UU.: AOAC International; 2019.
14. Kelebek H, Selli S, Canbas A, Cabaroglu T. HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kozan. *Microchem J* 2009; 91:187-92.
15. Aragón-Fortes Y, Robaina-Morales LM, Pino JA. Optimization of the spray drying parameters for developing guava powder. *J Food Process Eng* 2019; e13230. DOI: 10.1111/jfpe.13230.
16. Bazaria B, Kumar P. Effect of dextrose equivalency of maltodextrin together with Arabic gum on properties of encapsulated beetroot juice. *Food Measure* 2017; 11(1):156-63.
17. Islam MZ, Kitamura Y, Yamano Y, Kitamura M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. *J Food Eng* 2016; 169:131-40.
18. Montgomery DC. Design and Analysis of Experiments. New York: John Wiley and Sons, Inc., 2013.
19. Stat-Ease, Inc. Tutorials for Design-Expert ver. 8.0.7. Disponible en: [http://www.statease.com/dx8\\_man.html](http://www.statease.com/dx8_man.html). Acceso 21 diciembre 2019.
20. Vardin H, Yasar M. Optimisation of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice spray-drying as affected by temperature and maltodextrin content. *Int J Food Sci Technol* 2012; 47:167-76.
21. Bakar J, Ee SC, Muhammad K, Hashim DM, Adzahan N. Spray-drying optimization for red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*). *Food Bioprocess Technol* 2013; 6:1332-42.
22. Muzaffar K, Kumar P. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. *Powder Technol* 2015; 279:179-84.
23. Moghaddam AD, Pero M, Askari GR. Optimizing spray drying conditions of sour cherry juice based on physicochemical properties, using response surface methodology (RSM). *J Food Sci Technol* 2017; 54:174-84.
24. Avila EL, Rodríguez MC, Velásquez HJC. Influence of maltodextrin and spray drying process conditions on sugarcane juice powder quality. *Rev Fac Nac Agron, Medellín* 2015; 68:7509-20.
25. Mishra P, Mishra S, Mahanta CL. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Embllica officinalis*) juice powder. *Food Bioprod Process* 2014; 92:252-58.
26. Miravet G, Alacid M, Obón JM, Fernández-López JA. Spray-drying of pomegranate juice with prebiotic dietary fibre. *Int J Food Sc Technol* 2016; 51:633-40.
27. Castro-Muñoz R, Barragán-Huerta BE, Yáñez-Fernández J. Use of gelatin-maltodextrin composite as an encapsulation support for clarified juice from purple cactus pear (*Opuntia stricta*). *LWT-Food Sci Technol* 2015; 62:242-48.
28. Barbosa-Cánovas GV, Juliano P. Physical and chemical properties of food powders. En: Encapsulated and Powdered Foods, Ed. Onwulata C. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group; 2005. pp. 40-66.