

EVALUACIÓN DEL SECADO DE PASTA DE TOMATE A ESCALA DE LABORATORIO Y DE BANCO

Daniela Cabrera-Roque^{1}, Jorge A. Pino^{1,2}, Yojhansel Aragüez-Fortes¹ y José L. Rodríguez^{1,2}*

¹Dpto. de Aromas, Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.

Carretera al Guatao km 3 ½, CP 17100 La Habana, Cuba.

E-mail: daniela.cabrera@iia.edu.cu

²Dpto. de Alimentos, Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de La Habana, Cuba.

Recibido: 02-05-2023 / Revisado: 05-08-2023 / Aceptado: 21-09-2023 / Publicado: 30-12-2023

RESUMEN

El secado por aspersión es la técnica más eficiente utilizada en diversas industrias para la conversión de una amplia gama de productos en forma de polvo. Para esto, los parámetros del proceso deben ser optimizados para garantizar la calidad del producto. Cuando se opera con diferentes escalas de proceso es importante asegurar que las características del producto se mantengan en la escala superior. Por tanto, el presente estudio tuvo como objetivo comparar el proceso a escalas de laboratorio y de banco, así como las características del producto en polvo. Se demostró que es posible obtener pasta de tomate deshidratada, a escala de banco, con condiciones operacionales y características físicas y químicas similares a las logradas en el proceso optimizado a escala de laboratorio.

Palabras clave: pasta de tomate, secado por aspersión, polvo de tomate, caracterización.

ABSTRACT

Evaluation of tomato paste drying at laboratory and bench scale.

Spray drying is the most efficient technique used in various industries for converting a wide range of products into powder form. For this, the process parameters must be optimized to guarantee product quality. When operating with different process scales it is important to ensure that the product characteristics are maintained at the upper scale. Therefore, the present study aimed to compare the process at laboratory and bench scales, as well as the characteristics of the powder

product. It was demonstrated that it is possible to obtain dehydrated tomato paste, at bench scale, with operational conditions and physical and chemical characteristics similar to those achieved in the optimized process at laboratory scale.

Keywords: tomato paste, spray drying, tomato powder, characterization.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la fruta vegetal más popular y de mayor consumo en todo el mundo. Esta fruta es una buena fuente de diversos nutrientes y compuestos bioactivos que promueven la salud y, por tanto, constituyen parte esencial de la dieta de las personas (1). Sin embargo, el tomate es altamente perecedero y cada año se registran pérdidas de alrededor del 15% en la etapa postcosecha. Para superar estas pérdidas, la fruta se transforma en diversos productos de valor añadido que no sólo hace que estén disponibles durante todo el año, sino también ayuda a los agricultores a obtener mejores rendimientos. Distintos investigadores han estandarizado el proceso para el desarrollo de diversos productos finales a base de tomate (2-4).

El tomate en polvo tiene un enorme potencial en las industrias procesadoras. Se puede utilizar para preparar salsas, ketchup, sopas instantáneas y otros alimentos secos. Además, los polvos de tomate reducen el volumen de almacenamiento, transporte y envasado con una vida útil prolongada. El secado por aspersión es la técnica más eficiente utilizada en diversas industrias para la conversión de una amplia gama de productos en forma de polvo. La versatilidad y flexibilidad del proceso de secado por aspersión ha dado como resultado una mayor popularidad de la técnica de secado por aspersión entre los procesadores de frutas y vegetales (5). Sin embargo, parámetros como la concentración del jugo, los aditivos, el caudal de alimentación y las temperaturas del aire de entrada y salida son importantes para garantizar la calidad del producto final y su cuidadoso mantenimiento es importante para un proceso eficiente de secado por aspersión (6). Varios

trabajos han reportado el secado por aspersión de jugo, puré y pasta de tomate (6-9). Recientemente se publicó un trabajo en el que se optimizaron la temperatura del aire de entrada y el caudal de alimentación en el secado por aspersión, a escala de laboratorio, de la pasta de tomate (10). Por lo tanto, el presente estudio se planificó con el objetivo de comparar el proceso a escalas de laboratorio y de banco, así como las características del tomate en polvo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se usó pasta de tomate con sal común adicionada de la empresa Conchita (Pinar del Río) de la cosecha 2023 cuya caracterización aparece en la Tabla 1. Como soporte para el secado se usó maltodextrina DE 10 con 5,2 % m/m de humedad (IMSA, Guadalajara, México) y para preparar las mezclas a secar se utilizó agua suavizada.

Tabla 1. Características de la pasta de tomate

| Indicador | Media | Desviación estándar |
|--------------------------------------|-------|---------------------|
| Sólidos refractométricos (°Brix) | 22,8 | 0,2 |
| Acidez (g/100 g, como ácido cítrico) | 1,85 | 0,04 |
| pH | 4,00 | 0,01 |
| Humedad (g/100 g) | 77,2 | 0,3 |
| Cloruro de sodio (g/100 g) | 3,7 | 0,1 |
| Sacarosa (g/100 g) | 0,24 | 0,02 |
| Glucosa (g/100 g) | 8,41 | 0,80 |
| Fructosa (g/100 g) | 3,47 | 0,33 |

Las experiencias se hicieron en un secador por aspersión, a escala de laboratorio, Büchi B-290 (Labortechnik AG, Flawil, Suiza). Las corridas experimentales fueron de 100 g con 20 % m/m de sólidos solubles de alimentación constituidos por una

relación de sólidos solubles pasta:maltodextrina 1:1 o 1:0,7. Los parámetros del secador fueron temperatura de alimentación de la mezcla 25 °C, boquilla de alta presión con abertura de 0,5 mm, caudal del aire de secado 473 L/h y caudal del aspirador 35 m³/h (100 % de su máxima capacidad). Se utilizaron temperaturas de entrada del aire de 165 °C y caudal de alimentación de 350 mL/h (10). Se produjeron pequeñas variaciones en las temperaturas de entrada del aire (TAE) y temperaturas de salida del aire (TAS) mientras se realizaba el secado sin cambios en los ajustes. Estas variables se monitorearon en el panel de control del secador y se calcularon los valores promedio para cada corrida. Las condiciones de procesamiento para todas las corridas se presentan en la Fig. 1. Los puntos de datos conectados con la misma línea representan las corridas con igual caudal de alimentación. Las temperaturas de salida del aire se mantuvieron entre 75 y 87 °C.

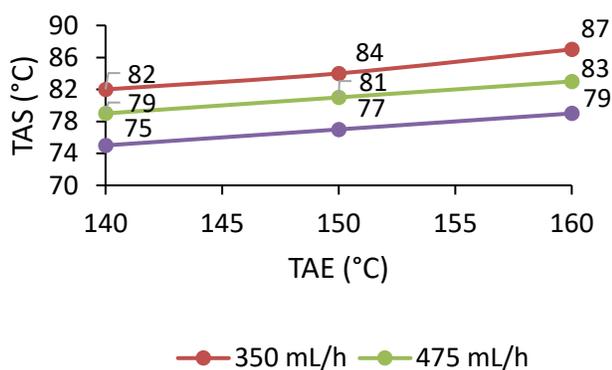


Fig. 1. Condiciones del secado a escala de laboratorio. TAS: temperatura del aire de salida, TAE: temperatura del aire de entrada.

Las corridas experimentales se hicieron al azar y en cada una se procesaron 100 g de alimentación con un contenido de sólidos totales de 20 % m/m. El interior de la cámara de secado se barrió suavemente para recolectar el polvo de las paredes y unirlo con el del colector. Los productos deshidratados se envasaron en bolsas de polietileno de alta densidad que se colocaron en una desecadora hasta su análisis (tiempo no mayor de tres días).

El escalado del proceso de secado por aspersión hasta escala de banco se realizó con un equipo con similar sistema de aspersión: flujo confluyente y disco centrífugo, aspecto que asegura el éxito del escalado en este tipo de equipo (11). El criterio de escalado empleado fue mantener iguales TAE y TAS. Con los parámetros optimizados se hicieron tres corridas para comprobar los modelos del diseño y caracterizar al producto en un secador por aspersión Niro Production Minor (Niro Atomizer Ltd., Columbia, EE. UU.) de disco centrífugo. Se utilizó una TAE de 160 °C y TAS de 75 °C, según el diseño realizado a escala de laboratorio. Las corridas experimentales fueron de 4,55 kg de matriz de alimentación con 20 % de sólidos totales, a partir de la mezcla de 1 kg de pasta, 0,210 kg de maltodextrina (relación de sólidos solubles de pasta:maltodextrina 0,7:1 m/m) y 2,85 kg de agua suavizada. Los tres puntos vibratorios de las paredes de la cámara de secado se golpearon con un martillo de goma aproximadamente cada 15 min. El interior de la cámara de secado se barrió suavemente para recolectar el polvo de las paredes y unirlo con el del colector. Los productos se envasaron en bolsas de polietileno de doble densidad que se colocaron en una desecadora hasta su análisis (tiempo no mayor de tres días).

Se hicieron determinaciones de contenido de sólidos solubles por refractometría (12), acidez (12), valor de pH (12), contenido de humedad mediante un analizador de humedad Sartorius mod. MA37 (Goettingen, Alemania), donde se calentó a 105 °C y se leyó la pérdida de masa. Además, se evaluaron el contenido de cloruro de sodio por el método volumétrico de Mohr (13) y el contenido de glucosa, fructosa y sacarosa mediante cromatografía líquida de alta resolución en un cromatógrafo YL9100 (YL Instrument Co. Ltd., Corea) con detector refractométrico, 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 5400 kPa. Para la cuantificación se hicieron curvas patrones con cada uno de los azúcares (14).

La medición de color se realizó según un procedimiento reportado (8). Para la comparación de color con la pasta de tomate original, a 1 g de polvo se le adicionó una cantidad de agua, calculada por balance de masas (teniendo en cuenta la humedad del polvo), para lograr una mezcla con contenido de sólidos similar a la pasta original. Se utilizó un espectrofotómetro UV-Visible UV-2600 con el accesorio ISR-2600 (esferas integradas). El modo de medición fue por porcentaje de reflectancia. Se usó el iluminante fue D65 y el ángulo de observación 10°. Los datos fueron analizados por el programa UVPC Color Analysis ver. 3.12 de Shimadzu Corp. (Japón) y se transformaron en términos de la escala universalmente aceptada L*a*b* CIE. Se calculó la diferencia de color global (ΔE^*) mediante la ecuación siguiente (15):

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

Donde ΔL^* , Δa^* y Δb^* son las diferencias entre la pasta y el polvo para cada parámetro.

Además, a los productos deshidratados se le determinaron la densidad bruta y densidad compactada (16), cohesividad por el cociente entre la densidad compactada y la densidad bruta, según la relación de Hausner (8), rehidratación (17) e higroscopicidad (17).

La distribución del tamaño de partícula del producto seco se hizo por microscopía electrónica de barrido. Se examinó en el microscopio electrónico de barrido citado anteriormente. El tamaño promedio de partícula se determinó mediante la ecuación reportada antes (18):

Los análisis de varianza y las diferencias significativas ($p \leq 0,05$) se determinaron por la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Para ello se utilizó el programa Statgraphics Centurion XV ver. 15.2.05 (2007) (StatPoint Inc., Warrenton, VA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento fue utilizado como criterio de comparación entre las dos escalas evaluadas. El rendimiento en la escala de banco (58,4 %) fue similar a la escala de laboratorio (54,3 %), aun con la presencia en el secador mayor de un dispositivo para evitar la deposición del polvo durante el proceso, que en el equipo de laboratorio no es posible usar por ser de vidrio la cámara de secado.

Teniendo en cuenta que no hubo diferencia significativa para el rendimiento, se confirmó las mejores condiciones obtenidas en el secado a escala de laboratorio.

Con los valores óptimos de la TAE y TAS se realizaron tres corridas experimentales a escala de banco para comprobar la optimización, comparar con los resultados de la escala de laboratorio y caracterizar al producto. La Tabla 2 presenta los resultados.

Tabla 2. Indicadores de las corridas experimentales

| Indicador | Escala de laboratorio | Escala de banco |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Humedad (% m/m) | 7,44 ^a (0,8) | 7,08 ^a (0,8) |
| Diferencia de color global | 11,02 ^a (1,2) | 10,91 ^a (1,1) |
| Densidad bruta (g/mL) | 0,2850 ^a (0,03) | 0,2845 ^a (0,02) |
| Densidad compactada (g/mL) | 0,4081 ^a (0,04) | 0,3962 ^a (0,04) |
| Cohesividad (RH) | 1,43 ^a (0,01) | 1,39 ^a (0,01) |
| Rehidratación (s) | 76,0 ^a (0,1) | 75,5 ^a (0,1) |
| Higroscopicidad (g/100 g de sólidos) | 55,9 ^a (5,7) | 56,3 ^a (5,6) |

(): desviación estándar. Letras distintas indican diferencia significativa para $p \leq 0,05$.

Los indicadores no tuvieron diferencias significativas entre las dos escalas de operación, por lo que puede decirse que se obtuvo un producto seco con similar calidad.

Teniendo en cuenta que no hubo diferencia significativa para los indicadores, se consideraron como adecuados los parámetros establecidos en la escala de banco.

La Fig. 2 muestra una microfotografía de barrido de las partículas de la pasta de tomate deshidratada en el secador de disco centrífugo. Las microcápsulas presentaron una morfología externa muy similar: una superficie redondeada con concavidades y dientes, característica de este tipo de producto. Las superficies externas no mostraron señales de grietas ni porosidades, aspectos que sugieren una buena estabilidad del producto (19).

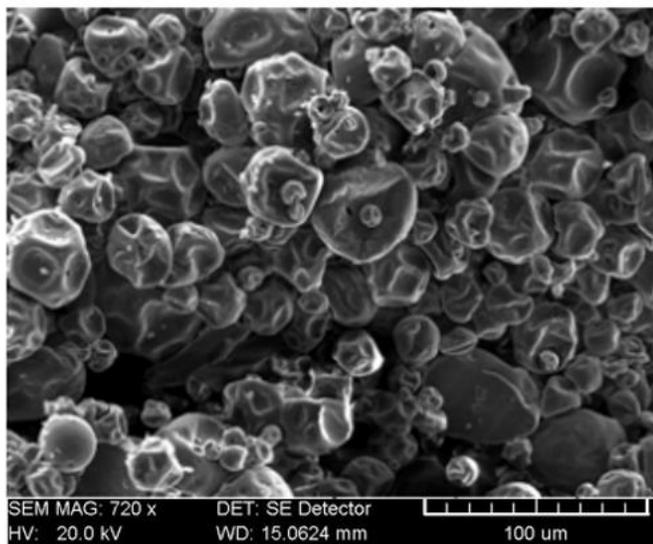


Fig. 2. Microfotografía de barrido de las partículas de pasta de tomate deshidratada.

A partir de las microfotografías se determinó el diámetro promedio (D_{43}) de las partículas que resultó ser $23,0 \mu\text{m}$ ($S = 0,5 \mu\text{m}$), que está en el intervalo de 10 a $100 \mu\text{m}$ comúnmente informado para esta tecnología (20).

Con la misma técnica de secado, se han reportado $D_{43} = 13,3$ y $21,4 \mu\text{m}$ en jugo de açai (21); $6,6 \mu\text{m}$ en mora negra (22), $1,2$ a $9,1 \mu\text{m}$ en banano (23); $6,1 \mu\text{m}$ en pera del cactus púrpura

(24); $11,78 \mu\text{m}$ en pulpa de guayaba (25) y $16,3 \mu\text{m}$ en pulpa de acerola (26).

CONCLUSIONES

Se demostró que es posible obtener pasta de tomate deshidratada, a escala de banco, con condiciones operacionales y características físicas y químicas similares a las logradas en el proceso optimizado a escala de laboratorio.

REFERENCIAS

1. Collins EJ, Bowyer C, Tsouza A, Chopra M. Tomatoes: An extensive review of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation. *Biology* 2022, 11:e239. <https://doi.org/10.3390/biology11020239>. Acceso 20 diciembre 2023.
2. Hayes WA, Smith PG, Morris AEJ. The production and quality of tomato concentrate. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2010; 38(7):537-64.
3. Igile GO, Ekpe OO, Essien NM, Bassey SC, Agiang MA. Quality characteristics of tomato juice produced and preserved with and without its seeds. *Donnish Journal of Food Science and Technology* 2016; 2(1):1-9.
4. Qiu J, Acharya P, Jacobs DM, Boom RM, Schutyser, MAI. A systematic analysis on tomato powder quality prepared by four conductive drying technologies. *Innov Food Sci Emerg Technol* 2019; 54:103-12.
5. Pui LP, Saleena LAK. Effects of spray-drying parameters on physicochemical properties of powdered fruits. *Foods and Raw Materials* 2022; 10(2). <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-533>. Acceso 21 diciembre 2023.
6. 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.

7. Goula AM, Adamopoulos KG. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Drying Technol* 2008; 26:726-37.
8. Tontul I, Topuz A, Ozkan C, Karacan M. Effect of vegetable proteins on physical characteristics of spray-dried tomato powders. *Food Sci Technol Int* 2016; 22(6):516-24.
9. Sidhu GK, Singh M, Kaur P. Effect of operational parameters on physicochemical quality and recovery of spray-dried tomato powder. *J Food Process Preserv* 2019; 43(10):e14120. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14120>
10. Cabrera-Roque D, Aragüez-Fortes Y, Amador-Valladares MA, Rodríguez JL, Pino JA. Optimization of spray-drying process for tomato paste. *J Raw Mater Process Food* 2023; (aceptado para publicar)
11. Masters K. *Spray Drying Handbook*. London: Longman Scientific and Technical; 1991.
12. AOAC. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemist, Gaithersburg, Maryland, USA: AOAC International; 2019.
13. NC 660. *Productos vegetales. Método rápido para la determinación del contenido de cloruro por la técnica de Mohr*. Cuba; 2008.
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. Anekella K, Orsat V. (2013). Optimization of microencapsulation of probiotics in raspberry juice by spray drying, *LWT – Food Sci Technol* 2013; 50:17-24.
16. Goula AM, Adamopoulos KG. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innov Food Sci Emerg Technol* 2010; 11:342-51.
17. Aragüez-Fortes Y, Robaina-Morales LM, Pino JA. Optimization of the spray-drying parameters for developing guava powder. *J Food Process Eng* 2019; 42:e13230. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13230>. Acceso 20diciembre 2023.
Tontul I, Topuz A, Ozkan C, Karacan M. Effect of vegetable proteins on physical characteristics of spray-dried tomato powders. *Food Sci Technol Int* 2016; 26(6):516-24.
18. Zotarelli MF, Martins da Silva B, Durigon A, Hubinger MD, Laurindo JB. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technol* 2017; 305:447-54.
19. Bertolini AC, Siani AC, Grosso CRF. Stability of monoterpenes encapsulated in gum Arabic by spray-drying. *J Agric Food Chem* 2001; 49:780-5.
20. Buffo RA, Probst K, Zehentbauer G, Luo Z, Reineccius GA. Effects of agglomeration on the properties of spray-dried encapsulated flavours. *Flav Fragr J* 2002; 17:292-9.
21. Tonon VR, Brabet C, Hubinger M. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai powder produced by spray drying. *J Food Eng* 2008; 88:41141-8.
22. Fazaeli M, Emam-Djomeh Z, Ashtari AK, Omid M. Prediction of the physicochemical properties of spray-dried black mulberry (*Morus nigra*) juice using artificial neural networks. *Food Bioprod Process* 2012; 90:667-75.
23. Chávez-Rodríguez AM, Pérez-Martínez JD, Ibarra-Junquera V, Escalante-Minakata P, Villa Velázquez-Mendoza CI, Dibildox-Alvarado E, Ornelas-Paz JJ. Microencapsulation of banana juice from three different cultivars. *Int J Food Eng* 2013; 9(1):9-16.
24. Castro-Muñoz R, Barragán-Huerta BE, Yañez-Fernández J. Use of gelatin-maltodextrin composite as an encapsulation support for clarified juice from purple

- cactus pear (*Opuntia stricta*). LWT - Food Science and Technology 2015; 62:242-8.
25. Shishir MRI, Taip FS, Aziz NA, Talib RA, Sarker MSH. Optimization of spray drying parameters for pink guava powder using RSM. Food Sci Biotechnol 2016; 25(2):461-8.
26. Pino JA, Aragüez-Fortes Y, Rodríguez LM. Optimization of the spray-drying parameters for developing mature acerola powder. J Raw Mater Process Foods 2020; 1(2):40-6. Disponible en <https://doi.org/10.1590/fst.36217>. Acceso noviembre de 2023.