

SECADO POR ASPERSIÓN DE DERIVADOS DEL TOMATE

Daniela Cabrera-Roque^{1}, Yójhansel Aragüez-Fortes¹ y Jorge A. Pino^{1,2}*

¹Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. La Habana, CP 17100, Cuba.

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

²Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de La Habana, CP 13600, La Habana, Cuba.

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

RESUMEN

Las frutas y vegetales son productos alimentarios con un gran aporte nutricional, aunque muy perecederos, por lo que se buscan alternativas para su mayor durabilidad. El secado por aspersión es actualmente uno de los métodos más empleados en la industria alimentaria para el deshidratado de dichos alimentos. El tomate en polvo tiene un mercado prometedor y potencial, pues es un producto con buen valor comercial y fácil manipulación. Esta reseña aborda los principios fundamentales del secado por aspersión de derivados del tomate, los principales factores que influyen en este proceso y las características del producto seco. Así como también se analizan los datos bibliométricos de estudios relacionados con el secado de derivados del tomate. Se tomaron en cuenta parámetros como el número de publicaciones por año,

revistas, afiliaciones, países, autores y modalidad del documento científico.

Palabras clave: tomate, secado por aspersión, estudio bibliométrico.

ABSTRACT

Spray drying of tomato derivatives.

Fruits and vegetables are food products with a great nutritional contribution although they are very perishable, so alternatives are sought for their greater durability. Spray drying is currently one of the most used methods in the food industry for dehydrating these foods. Tomato powder has a promising and potential market, as it is a product with good commercial value and easy handling. This review addresses the fundamental principles of spray drying of tomato derivatives, the main factors that influence this process and the characteristics of the dried product. As well as bibliometric data from studies related to the drying of tomato derivatives, are also analyzed.

Parameters such as the number of publications per year, journals, affiliations, countries, authors and type of scientific document were taken into account.

Keywords: tomato, spray drying, bibliometric study.

INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años va creciendo más el interés de la industria alimentaria en producir alimentos más saludables e inocuos, con el menor uso posible de aditivos sintéticos, que pueden dañar la salud humana a corto o largo plazo. Las frutas y vegetales son importantes portadores de vitaminas, minerales y fibra, por lo que deben formar parte de nuestra dieta diaria. Cada vez son más las personas que ven su nutrición como algo primordial y así ha aumentado la demanda de dichos alimentos en el mercado mundial. Por lo tanto, es un reto para la industria alimentaria el desarrollo de procesos o productos que brinden la mejor alternativa, siempre y cuando se considere la satisfacción y seguridad del consumidor (1).

El secado por aspersión es un método común utilizado para deshidratar frutas y vegetales (2-3). Hay muchos desafíos y problemas que se enfrentan durante el proceso de secado por aspersión del tomate y el más importante es la pegajosidad a causa de que las frutas y vegetales son matrices ricas en azúcares y ácidos orgánicos con una baja temperatura de transición vítrea (4). Como resultado, la optimización del proceso de secado es crítica para la obtención de productos con propiedades sensoriales y nutricionales mejoradas, así como incrementar el rendimiento del proceso (5, 6).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el cultivo vegetal más producido y consumido en el mundo. Esta fruta se considera beneficiosa para la salud porque contiene vitaminas y fitoquímicos como el licopeno (7). Además, es una fuente dietética importante de vitaminas A y C, y contiene fibra dietética, β -caroteno, hierro, magnesio, niacina, potasio, fósforo, riboflavina y tiamina (8). Más del 80 % de todos los tomates cultivados comercialmente se consumen procesados, como ketchup, jugo, sopa, salsa, puré y pasta (9).

Esta fruta, al ser altamente perecedera por naturaleza, tiene una vida útil limitada. Esto, junto con las instalaciones de procesamiento inadecuadas y las altas temperaturas predominantes del clima tropical, da como resultado una gran pérdida de producto (10, 11). Por lo que el tomate deshidratado, ya sea como fruta entera o producto procesado, tiene un mercado prometedor y potencial para las industrias de procesamiento (3, 7, 8, 11, 12). El polvo de tomate puede usarse en sopas, aderezos y condimentos o, después de la reconstitución como salsas para pizzas y pastas (7, 13).

Esta reseña aborda los principios fundamentales del secado por aspersión de derivados del tomate, así como los principales factores que influyen en este proceso y las características del producto seco.

Generalidades del secado por aspersión

El secado por aspersión o atomización es un proceso común en la industria alimentaria que involucra la aspersión de un líquido que contiene sólidos en solución, suspensión o emulsión y la dirección de la aspersión resultante de gotitas hacia un flujo de aire de secado caliente, que lo convierte en una operación unitaria (4, 14). Una de las razones más importantes por las que se ha escogido el secado por aspersión para obtener productos en polvo es la capacidad de la tecnología para lograr un producto de forma continua y rápida, con especificaciones de calidad precisas (5).

Este método proporciona la ventaja de la reducción de peso y volumen. Los parámetros, como la concentración de jugo, adición de soporte, velocidad del flujo de alimentación y las temperaturas del aire de entrada y salida tienen un papel importante en el rendimiento de los polvos de frutas (8).

En la industria alimentaria existen diversos tipos de secadores por aspersión, que pueden clasificarse según la forma de aspersión como: secador con boquilla de alta presión (flujo en paralelo, contracorriente y combinado) y de discos centrífugos (5).

Con el flujo en paralelo, el líquido es asperjado en el mismo sentido que el flujo de aire caliente a través del secador. Las

microgotas entran en contacto con el aire caliente cuando tienen mayor humedad. En esta variante, el producto es tratado con cuidado debido a una rápida evaporación. Con el flujo a contracorriente, el líquido es asperjado en sentido opuesto al flujo de aire caliente. De esta forma, se elimina la humedad residual y el producto alcanza una temperatura mayor en comparación cuando se emplea el flujo en paralelo. Esta variante es adecuada solamente para productos termoestables. Con la variante combinada se logran las ventajas de los dos tipos anteriores (5, 8).

La Fig. 1 muestra un esquema del secador con boquilla de alta presión con flujo en paralelo Büchi B-290 (Labortechnik AG, Flawil, Suiza), que es uno de los más usados.

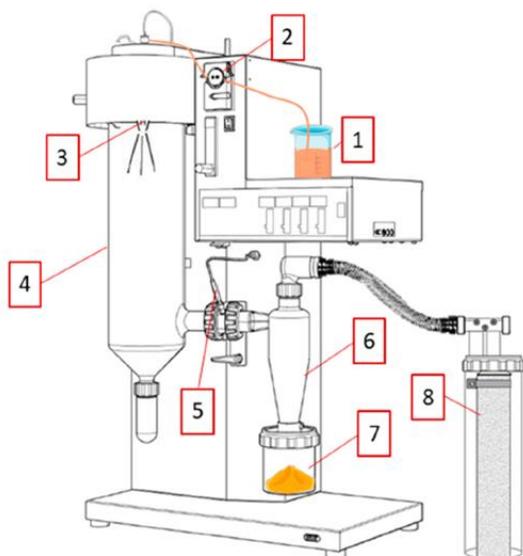


Fig. 1. Esquema del secador Büchi B-290. (1) líquido de alimentación, (2) bomba peristáltica, (3) boquilla de dos fluidos, (4) cámara de secado, (5) termopar de detección de temperatura de salida, (6) ciclón, (7) recipiente colector, (8) filtro.

Los aspersores en forma de discos son generalmente considerados más versátiles que las boquillas a chorro pueden aceptar un mayor rango de viscosidad en el licor de alimentación y son capaces de operar durante un intervalo más amplio de flujos de alimentación y velocidades de disco. El secador por aspersión centrífugo es un tipo de equipo de

secado adecuado para el secado de líquidos, como emulsiones, suspensiones, pastas y soluciones. El equipo es rápido, adecuado para el secado de materiales sensibles al calor, puede mantener el color, aroma y sabor de diversas matrices alimentarias (15).

Relación de la pegajosidad con la transición vítrea en el secado por aspersión de jugos de frutas

Los productos secados por aspersión pueden clasificarse en dos grupos: pegajosos y no pegajosos. Los productos pegajosos son difíciles de secar por aspersión en condiciones normales y muestran un comportamiento pegajoso debido a su riqueza en azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa y lactosa) y ácidos orgánicos (ácido cítrico, málico y tartárico).

Ejemplos de productos no pegajosos son los polvos lácteos, saborizantes microencapsulados y huevos en polvo. Estos polvos pueden fluir libremente. Los polvos de jugos de frutas y verduras, miel de abejas y lactosa pertenecen a los productos pegajosos (16).

Hay dos fenómenos relacionados con la propiedad de adherencia de los polvos: adhesión y cohesión. La adhesión entre las partículas y la pared más seca está influenciada por sus propiedades superficiales. La cohesión entre las partículas se produce en el producto depositado en la pared y en el conducto, en el sistema de fluidización o en recipientes de recolección si el polvo no se enfría inmediatamente después del secado o si la humedad del aire de refrigeración es alta. La cohesión entre las partículas resulta en apelmazamiento (17).

La temperatura de transición vítrea (T_g) es la temperatura a la que se da una pseudotransición termodinámica en materiales vítreos. Con la transición vítrea, el material pasa de un estado sólido a un estado gomoso; por lo tanto, las moléculas alcanzan un repentino incremento en su movilidad (14,18).

Existen diversas vías para resolver los problemas de pegajosidad en los productos: adición de diferentes soportes, como biopolímeros y gomas que aumentan la T_g del producto; por ajustes al proceso tecnológico, mediante secado a baja temperatura y humedad, introducción de aire frío,

enfriamiento y barrido de las paredes de la cámara, y diseño del secador; aunque no es la variante que más se maneja en la industria (18).

Los productos pegajosos son higroscópicos y la mejor vía de eliminar los problemas de pegajosidad es mediante agentes secantes como el almidón, goma arábiga y maltodextrina para obtener polvos mediante secados por aspersión. La naturaleza higroscópica y termoplástica de los jugos de frutas, como el jugo de tomate, dan lugar a problemas como la adherencia a las paredes del secador; manipulación difícil y apelmazamiento debido a que aproximadamente el 90 % de las sustancias secas en los jugos consisten en monosacáridos (glucosa, fructosa), disacáridos (sacarosa) y polisacáridos (14).

La pulpa de tomate es un ejemplo típico de un producto que es muy difícil de secar por aspersión debido a la baja T_g de los azúcares de bajo peso molecular presentes. Los azúcares que se encuentran en los productos de tomate son principalmente glucosa y fructosa, con una T_g de 31 y 5 °C, respectivamente (19-23). Por lo que, un alto contenido de azúcares en los jugos, pulpas y pastas conduce a una T_g relativamente baja, lo que aumenta la pegajosidad del producto principalmente a las superficies de los secadores de tambor y boquilla de alta presión, como consecuencia del alto contenido de agua o alta temperatura durante el proceso.

En general, se agregan grandes cantidades de soporte a los jugos de frutas, para aumentar la T_g . Sin embargo, la adición de estos materiales aumenta el costo del producto y debilita el sabor, lo que reduce la aprobación del consumidor de los jugos en polvo.

Principales factores que inciden en el secado por aspersión y características del producto

Los principales factores que afectan el secado por aspersión con disco centrífugo y las características del producto son: la concentración de sólidos solubles del material a secar, tipo y concentración de soporte, temperaturas del aire de entrada y

salida, velocidad del flujo de alimentación y velocidad del disco centrífugo (2, 3, 6).

Concentración de sólidos solubles del material a secar

La concentración de sólidos solubles de la matriz antes del secado por aspersión es importante para disminuir el contenido de agua libre y, por tanto, el tiempo de operación. El material de alimentación normalmente se concentra de 50 a 60 % antes de introducirse en el secador por aspersión a escala comercial (18).

Tipo y concentración del soporte

Se emplean compuestos de alto peso molecular en el secado por aspersión como una opción usual para elevar la T_g . El uso de combinaciones de soportes y condiciones de secado proporcionan productos con diferentes propiedades físicas y químicas (14).

Los soportes más comúnmente usados para los jugos de frutas son los biopolímeros: maltodextrina (MD), goma arábiga (GA), almidones químicamente modificados, ciclodextrinas, celulosa y derivados, así como varios tipos de proteínas (14, 16, 24, 25). Se añaden estos soportes con la intención de disminuir la pegajosidad del producto en el secador y mejorar su estabilidad durante el almacenamiento.

Velocidad del flujo de alimentación

La velocidad del flujo de alimentación depende básicamente de la velocidad del atomizador. La alimentación con un caudal más alto exige más energía para evaporar la misma cantidad de humedad de las gotas de alimentación. Una velocidad de flujo de alimentación más alta permite una transferencia de calor y masa más lenta, lo que dificulta el secado adecuado de las gotitas. (26). Una velocidad de flujo de alimentación más alta no permite un tiempo de interacción adecuado entre las gotas de alimentación y el aire caliente; por lo tanto, el tiempo de contacto más corto hace que la transferencia de calor y masa sea menos efectiva y conduce a un mayor contenido de humedad en el producto final (26) observaron efectos similares en polvo de açai. De acuerdo con una velocidad de flujo de alimentación más alta aumenta el tamaño de partícula

y la densidad aparente (27). Por el contrario, en el secado por aspersión de jugo de naranja, el contenido de humedad del polvo de naranja disminuyó con una velocidad de flujo de alimentación más alta, lo que condujo a la reducción de la densidad aparente en el jugo de naranja en polvo. La reducción de la densidad aparente se debe a la presencia de menos agua en el producto en polvo. Esto se debe a que el agua es más densa que la mayoría de los sólidos secos de los alimentos (26).

Temperaturas del aire de entrada y salida

La temperatura del aire de entrada (TAE) es la que tiene el aire al entrar en la cámara de secado, impulsado por un compresor y es medida antes de entrar a la propia cámara. Al ser la TAE mayor que la del punto de ebullición del agua, ocurre una evaporación rápida dentro de la cámara. Es importante señalar que el producto nunca alcanza la temperatura de secado pues esta operación ocurre en pocos segundos y, además, se desprenden las moléculas de agua más calientes con el consiguiente enfriamiento de la microgota y micropartícula (14).

Mediante un flujo de alimentación constante, el aumento de la TAE reduce el contenido de humedad. Es decir, el contenido de humedad disminuye con el aumento de la TAE debido a la transferencia de calor es más rápida entre el producto y el aire de secado (4, 13, 14, 28).

Se encontró que la humectabilidad del polvo de frutas con una TAE más baja era mejor que una TAE más alta (4, 14). Las temperaturas más altas de la TAE acelerarán la velocidad de evaporación de la humedad, pero también distorsionarán la calidad de los productos secos (14, 29).

La TAE incidió positivamente en la retención de ácido ascórbico y compuestos volátiles en el secado de jugos y pulpas (24, 25, 30). El empleo de baja temperatura y otras propiedades son importantes características en la conservación de compuestos sensibles al calor (30).

La temperatura del aire de salida (TAS) es la que tiene la corriente de aire junto con las partículas de sólido antes de

entrar al ciclón. A diferencia de la TAE, la de salida no puede ser ajustada con un regulador de temperatura. La selección adecuada para la diferencia entre ambas temperaturas es uno de los aspectos más importantes en el secado por aspersión. Las temperaturas del aire controlan el contenido de humedad del polvo. En la medida que se incrementa la TAE y disminuye la diferencia de temperatura del aire en el secador ($\Delta T_{\text{entrada-salida}}$), disminuirá la humedad en el producto. Esto es debido a la humedad relativa del aire de salida en el secador. El $\Delta T_{\text{entrada-salida}}$ (a una temperatura de aire de entrada fija) actúa de forma similar. Al disminuir $\Delta T_{\text{entrada-salida}}$ significa que se está alimentando menos líquido de alimentación, por tanto, habrá menor humedad, disminuirá la humedad relativa del aire y, por consiguiente, se obtendrá un producto más seco (31).

Velocidad del disco centrífugo

La velocidad del disco centrífugo también juega un papel importante en las características del producto. Se informó que una mayor velocidad del disco ($10\ 000$ a $25\ 000\ \text{min}^{-1}$) redujo el contenido de humedad y tamaño de las microesferas en el jugo de naranja en polvo (29). Por otra parte, la velocidad creciente de aspersión descompone las gotas de líquido en partículas diminutas, que crea un área de superficie extensa y ayuda a un secado más rápido, lo que resulta en un contenido de humedad reducido (32-34).

Estudio bibliométrico sobre secado por aspersión en productos derivados del tomate

Para llevar a cabo el estudio bibliométrico se desarrollaron estrategias de la búsqueda individual detallada para cada una de las bases de datos bibliográficas siguientes: Scopus (<https://www.scopus.com>), ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com>), Scielo (<https://www.scielo.org>) y Google Scholar (<https://scholar.google.com>). La búsqueda incluyó todos los documentos publicados hasta diciembre de 2023, para todas las bases de datos sin restricciones de tiempo o idioma. La Tabla 1 recoge todos los trabajos reportados hasta la fecha. Se

realizó un análisis bibliométrico que incluyó año, autor, revista, afiliación, país y tipo de documento científico.

Tabla 1. Estudios de secado por aspersión de productos del tomate

Material	Soporte	Equipo	TAE (°C)	TAS (°C)	VFA	VFAS (m ³ /h)	VFAA (L/h)	HAS (g/kg)	VD (min ⁻¹)	Ref.
Pasta con 25 % ST	Almidón	Niro Mobile Minor	130 a 160	-	8 a 16 mL/min	2,27 a 2,84	-	-	-	27
Pasta con 25 % ST	-	Niro Mobile Minor	130 a 160	-	8 a 16 mL/min	2,27 a 2,84	-	-	25 000 a 35 000	33
Puré con 14 % ST	-	Büchi B-191	110 a 140	-	1,75 g/min	17,5 a 22,75	500 a 800	-	-	34
Pulpa	MD	Büchi B-191	170 a 180	80	-	-	-	-	-	35
Puré con 14 % ST	-	Büchi B-191	110 a 140	66 a 91	1,75 g/min	17,5 a 22,75	500 a 800	-	-	21
Puré con 14 % ST	-	Büchi B-191	130	-	1,75 g/min	22,75	600 ± 20	0,01	-	23
Puré con 18 % ST	MD	Büchi B-191	130 a 150	-	1,75 g/min	22,75	800 ± 20	0,01	-	19
Puré con 14 % ST	-	Büchi B-191	130	-	1,75 g/min	22,75	600 ± 20	0,01	-	20
Pulpa	MD	DTA, UFRRT (Brasil)	200 a 220	90	127 a 276 g/min	-	-	-	25 000 a 35 000	28
Pulpa	MD	DTA, UFRRT (Brasil)	200 a 220	90	127 a 276 g/min	-	-	-	25 000 a 35 000	29
Pulpa concentrada	MD	ACMEFIL (India)	160 a 180	90	80 mL/min	-	-	-	-	8
Pulpa con 5,5 °Brix	Proteínas	Büchi B-290	150	-	9,2 mL/min	35	473	-	-	16
Pulpa con 4,2 a 4,7 °Brix	MD	Lab-Maq MSD 3,0, (Brasil)	150	99	16,7 mL/min	222	-	-	-	13
Pulpa con 6,2 % ST	MD	-	130 a 150	-	400 a 800 mL/h	62	-	-	-	14
Conc. rico en licopeno con 2 °Brix	MD	Büchi B-190	160	80	34 mL/min	-	700	-	-	36
Pulpa con 8 °Brix	MD	JISL LSD – 48 (India)	140 a 160	70 a 80	6 a 10 mL/min	-	-	-	-	37
Pulpa con 3 a 4 % ST	MD	JISL LSD-48 (India)	140 a 160	70	-	-	-	-	-	4
Pulpa	MD	-	140 a 180	-	-	-	-	-	-	30
Pulpa	MD	SM Scienctech (India)	152	-	37 mL/min	-	-	-	1300	11

Pulpa	GA		120 a 180						
Pulpa	GA e inulina	-	120 a 180	-	276 g/min	-	-	-	2500 10

MD: maltodextrina, GA: goma arábica, TAE: temperatura del aire de entrada, TAS: temperatura del aire de salida, VFA: velocidad del flujo de alimentación, VFAS: flujo del aire secante, VFAA: flujo del aire del atomizador, HAS: humedad del aire secante, VD: velocidad del disco centrífugo, ST: sólidos totales, -: no dato.

Se puede observar que todos los documentos publicados son artículos resultados de investigaciones empíricas. En este período de 22 años aparecen 20 documentos. Los años que sobresalieron en la producción científica fueron 2008 (3 documentos) y 2016 (3 documentos) (Fig. 2).

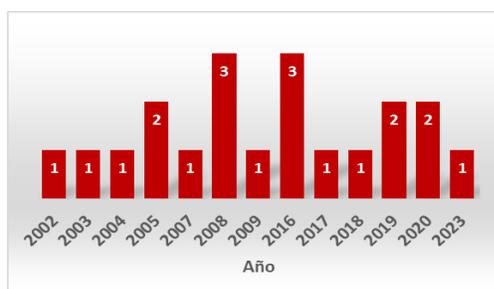


Fig. 2. Número de publicaciones por año.

Con el objetivo de tener una mejor visión del panorama mundial de estos documentos se hizo una búsqueda por país donde se hizo la investigación. De esta manera se puede poner de relieve e identificar los mayores contribuyentes en el tema. Del conjunto de países involucrados, los más prolíferos fueron Grecia, India y Brasil dentro de un total de ocho países (Fig. 3).

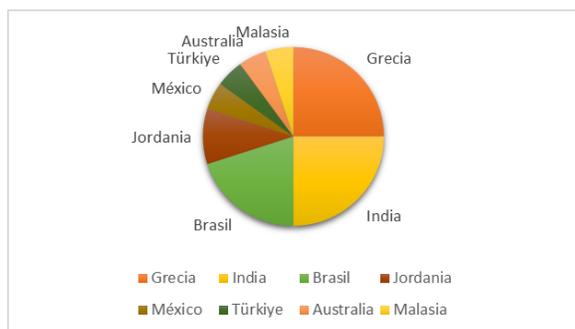


Fig. 3. Número de publicaciones por países.

En las revistas científicas sobresalen nueve de un total de 16 revistas registradas en la búsqueda (Fig. 4). De ellas, las más sobresalientes son: *Drying Technology* (Taylor & Francis),

Journal of Food Engineering (Elsevier) e *International Journal of Chemical Studies* (Chemijournal).

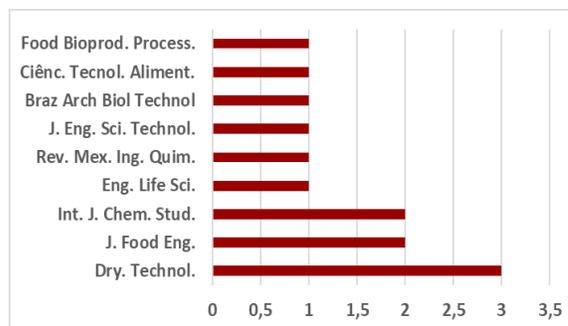


Fig. 4. Número de publicaciones para las revistas más sobresalientes.

La Fig. 5 muestra los autores con mayor producción en el tema de estudio, los que representan un total de 50 autores. De ellos, sobresalen nueve autores como A. M. Goula y K. G. Adamopoulos.

Un total de 13 instituciones han participado en las investigaciones sobre secado de derivados del tomate.

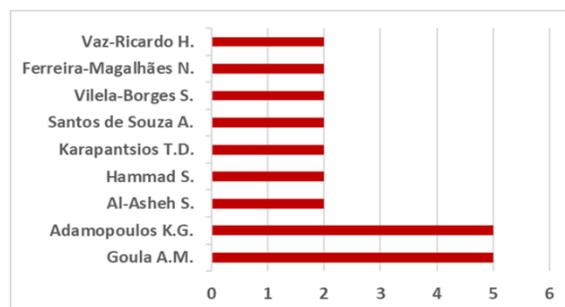


Fig. 5. Número de publicaciones de los autores más notables.

En la Fig. 6 aparecen 9 de ellas, donde sobresalen la Universidad Aristóteles de Salónica (Grecia) y la Universidad Federal de Río de Janeiro (Brasil).

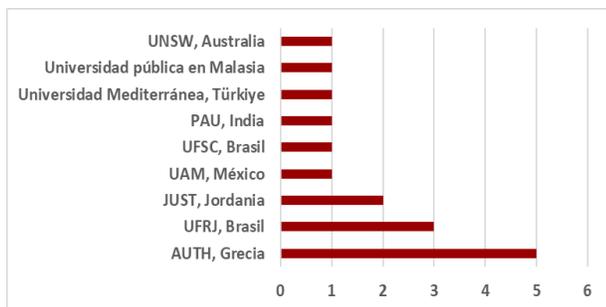


Fig. 6. Número de instituciones científicas más sobresalientes.

CONCLUSIONES

De los 20 trabajos dedicados al secado por aspersión de derivados del tomate, tan solo seis se hicieron con secadores de disco centrífugo, que es el tipo de equipo usado para el proceso comercial. Cabe destacar que todos los documentos corresponden a artículos científicos y los más recientes se encuentran estrechamente vinculados en cuanto a las condiciones del producto inicial a secar (pulpa) y utilización de soportes. Llama la atención, que con el paso de los años se ha intensificado la investigación y desarrollo de este tipo de producto. Aunque continúa siendo un reto lograr altos rendimientos en condiciones óptimas de secado, donde se mantengan las características físico-químicas y sensoriales del producto original.

REFERENCIAS

- Aragüez Y, Robaina LM, Pino JA. Optimization of the spray drying parameters for developing guava powder. *J Food Process Eng* 2019; 42(6):e13230. Disponible en <https://doi.org/10.1111/jfpe.13230>. Acceso 20 diciembre 2023.
- 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.
 - Bhatkar NS, Shirkole SS, Mujumdar AS, Thorat BN. Drying of tomatoes and tomato processing waste: a critical review of the quality aspects. *Dry Technol* 2021; 39(11):1720-44.
 - Kaur-Sidhu G, 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. Disponible en <https://doi.org/10.1111/jfpp.14120>. Acceso 20 diciembre 2023.
 - 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.
 - Pui LP, Saleena LAK. Effects of spray-drying parameters on physicochemical properties of powdered fruits. *Foods Raw Mater* 2022; 10(2):235-51.
 - Alves-Castro T, Santos-Leite B, Assunção LS, Freitas TJ, Colauto NB, Linde GA, Otero DM, Machado BAS, Ribeiro CDF. Red tomato products as an alternative to reduce synthetic dyes in the food industry: A review. *Molecules* 2021; 26:e7125. Disponible en <https://doi.org/10.3390/molecules26237125>. Acceso 21 diciembre 2023.
 - Siddick SA, Ganesh S. Spray drying technology for producing fruit powders from tomatoes and tamarillo. *Acta Horti* 2016; 1120:343-8.
 - 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; 239(11):1-44.
 - Anisuzzaman SM, Joseph CG, Endu OM. Optimisation of spray drying operating conditions of tomato slurry using response surface methodology. *J Eng Sci Technol* 2023; 18(1):112-35.
 - Ishrat SA, Naik HR, Zargar IA, Wani SM, Altaf U. Investigation of the physical properties of tomato powder prepared by spray drying technology. *Int J Chem Stud* 2020; 8(1):1071-4.
 - Pragati S, Preeti B. Technological revolution in drying of fruit and vegetables. *Int J Sci Res* 2014; 3(10):705-11.

13. Durigon A, Gimenez de Souza P, Mattar-Carciofi BA, Borges-Laurindo J. Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. *Food Bioprod Process* 2016; 100:145-55.
14. Kumar V, Sharma HK, Mishra S. Simulation of spray drying of tomato juice using computational fluid dynamics (CFD). *Cog Food Agric* 2017; 3:1-9.
15. Peighambardoust SH, Tafti AG, Hesari J. Application of spray drying for preservation of lactic acid starter cultures: a review. *Trends Food Sci Technol* 2011; 22:215-24.
16. 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.
17. O'Callaghan DJ, Hogan SA. The physical nature of stickiness in the spray drying of dairy products—a review. *Dairy Sci Technol* 2013; 93:331-46.
18. Verma A, Singh SV. Spray drying of fruit and vegetable juices - a review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2013; 55(5):701-9.
19. Goula AM, Adamopoulos KG. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. Drying kinetics and product recovery. *Dry Technol* 2008; 26(6):714-25.
20. Goula AM, Adamopoulos KG. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Dry Technol* 2008; 26(6):726-37.
21. Goula AM, Adamopoulos KG. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I, The effect on product recovery. *J Food Eng* 2005; 66:25-34.
22. Goula AM, Adamopoulos KG. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II, The effect on powder properties. *J Food Eng* 2005; 66:35-42.
23. Goula AM, Karapantsios TD, Adamopoulos KG. Characterization of tomato pulp stickiness during spray drying using a contact probe method. *Dry Technol* 2007; 25(4):591-8.
24. Aragüez Y, Pino JA, Rodríguez IS, Roncal E. Influencia del contenido de maltodextrina-goma arábiga y la temperatura del aire de entrada en el secado por atomización de jugo concentrado de naranja. *Cienc Tecnol Aliment* 2018; 28(3):27-33.
25. Aragüez Y, Robaina LM, Pino JA. Optimization of the spray drying parameters for developing guava powder. *J Food Process Eng* 2019; 42(6):e13230. Disponible en <https://doi.org/10.1111/jfpe.13230>. Acceso 20 diciembre 2023.
26. 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.
27. Banat BF, Jumah B, Al-Asheh S, Hammad S. Effect of operating parameters on the spray drying of tomato paste. *Eng Life Sci* 2002; 12(2):403-7.
28. Santos de Souza A, Vilela-Borges S, Ferreira-Magalhães N, Vaz-Ricardo H, Damico-Azevedo A. Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. *Braz Arch Biol Technol* 2008; 51(4):807-14.
29. Santos de Souza A, Vilela-Borges S, Ferreira-Magalhães N, Vaz-Ricardo H, Cereda MP, Daiuto ER. Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato. *Cienc Tecnol Aliment (Campinas)* 2009; 29(2):291-4.
30. Jeyaprakash S, Frank DC, Driscoll RH. Influence of heat pump drying on tomato flavour. *Dry Technol* 2016; 34(5):1709-18.
31. Reineccius GA. *Flavor Chemistry and Technology*. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor y Francis Group, 2006.
32. Pino JA, Aragüez Y, Bringas M. Optimization of spray-drying process for concentrated orange juice. *Acta Aliment* 2018; 47(4):417-24.

33. Al-Asheh S, Jumah R, Banat F, Hammad S. The use of experimental factorial design for analysing the effect of spray dryer operating variables on the production of tomato powder. *Trans IChemE* 2003; 81:e 09603085. Disponible en <https://doi.org/10.1205/096030803322088215>. Acceso 20 diciembre 23.
34. Goula AM, Adamopoulos KG, Kazakis NA. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Dry Technol* 2004; 22:1129-51.
35. Candelas-Cadillo MG, Alanís-Guzmán MGJ, Bautista-Justo M, Del Río-Olague F, García-Díaz C. Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersion. *Rev Mex Ing Quim* 2005; 4(3):299-307.
36. Souza LR, Hidalgo-Chávez DW, Pontes SM, Gomes FS, Cabral MC, Tonon RV. Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: Characterization and stability. *Food Sci Technol* 2018; 91:286-92.
37. Aswathy S, Suresha GJ, Sneha N, Sadananda GK. Microencapsulation of lycopene rich cherry tomato powder using spray drying. *Int J Chem Stud* 2019; 7(1):2270-7.