

Effect of Drying by Lyophilization and Atomization on the Characteristics and Properties of Fruit Powders: A Systematic Review

Diana Sánchez-Pasos, Bach¹, Cynthia Jael Montoya, Bach¹, Johana Bazán-Rodríguez, Bach¹, Carlos Gutierrez-Magan, Bach¹ and Meliza Lindsay Rojas, Dr.^{2*}

¹Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. dianasp662@gmail.com, jael.montoyac@gmail.com, johanaantuanet11@hotmail.com, car.gutierrezmag@gmail.com

²Dirección de Investigación, Innovación y Responsabilidad Social, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. meliza.rojas@upn.edu.pe

*Corresponding author: meliza.rojas@upn.edu.pe (M.L. Rojas); Av. Del Ejercito 920, Trujillo, 13001.

Abstract– Freeze-drying and spray-drying methods are widely used for the preservation of fruits in the powder form. The main concern is to produce high quality fruit powders, which requires finding the feasible method to ensure this attribute. The present review aims to analyze the scientific studies on spray drying and freeze drying to produce fruit powders under different operating conditions (temperature, time, pressure and solute) and to describe their effects on the physical properties, morphological and physicochemical characteristics of these products. Using the PRISMA methodology, 135 articles were obtained from different databases, of which 28 articles were selected based on the inclusion criteria, such as being published in English or Spanish, from 2010 to 2021. It was found that, compared to atomization, fruit powders obtained by freeze-drying presented larger particle size (48.89 μm - 221 μm), higher porosity, low bulk density, higher moisture (1 g water/100 g product - 7.8 g water/100 g product) and water activity between 0.204 and 0.47. On the contrary, atomized fruit powders showed lower moisture percentage (1.1 g water/100 g product - 5 g water/100 g product), smaller particle size (18.6 μm - 180 μm), high bulk density, leading to low porosity and water activity between 0.17 and 0.18. Both the freeze-dried and atomized products presented a spherical particle shape. It should be noted that the processing conditions and the type of fruit to be dehydrated also influence these characteristics and properties. Finally, it is concluded that both drying methods allow obtaining quality powders, however, freeze-drying allows better hydration properties, due to the characteristics and properties of the powders obtained by this technique. Therefore, in order to choose one or the other technology, the initial and final characteristics required of the product should be evaluated, as well as the economic aspects involved.

Keywords -fruit processing; spray drying; freeze-drying; fruit powders; powder properties.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.104>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Efecto del Secado por Liofilización y Atomización en las Características y Propiedades de Polvos de Frutas: Una Revisión Sistemática

Diana Sánchez-Pasos, Bach¹, Cynthia Jael Montoya, Bach¹, Johana Bazán-Rodríguez, Bach¹, Carlos Gutierrez-Magan, Bach¹ and Meliza Lindsay Rojas, Dr.^{2*}

¹Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. dianasp662@gmail.com, jael.montoyac@gmail.com, johanaantuanet11@hotmail.com, cargutierrezmag@gmail.com

²Dirección de Investigación, Innovación y Responsabilidad Social, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. meliza.rojas@upn.edu.pe

*Corresponding author: meliza.rojas@upn.edu.pe (M.L. Rojas); Av. Del Ejercito 920, Trujillo, 13001.

Resumen– Los métodos de secado por liofilización y atomización son utilizados ampliamente para la conservación de frutas en forma de polvo. La principal inquietud es producir polvos de frutas de alta calidad, lo que precisa encontrar el método viable que asegure dicho atributo. La presente revisión busca analizar los estudios científicos acerca del secado por atomización y liofilización en polvos de frutas en distintas condiciones de operación (temperatura, tiempo, presión y soluto) y describir sus efectos en las propiedades físicas, características morfológicas y fisicoquímicas de dichos productos. Mediante la metodología PRISMA, se obtuvieron 135 artículos en las diferentes bases de datos, de los cuales 28 artículos fueron seleccionados en base a los criterios de inclusión, como estar publicados en el idioma inglés o español, desde el año 2010 al 2021. Se encontró que, comparado a la atomización, los polvos de frutas obtenidos mediante liofilización presentaron mayor tamaño de partícula (48.89 μm – 221 μm), mayor porosidad, baja densidad aparente, mayor humedad (1 g agua/100 g de producto – 7.8 g agua/100 g de producto) y actividad de agua entre 0.204 y 0.47. Por el contrario, los polvos de frutas atomizados mostraron menor porcentaje de humedad (1.1 g agua/100 g de producto – 5 g agua/100 g de producto), menor tamaño de partícula (18.6 μm – 180 μm), alta densidad aparente, lo que conlleva a una baja porosidad y actividad de agua entre 0.17 y 0.18. Tanto los productos liofilizados y atomizados presentaron una forma esférica en sus partículas. Cabe recalcar, que las condiciones de procesamiento y el tipo de fruta a deshidratar también influyen en dichas características y propiedades. Finalmente, se concluye que ambos métodos de secado permiten la obtención de polvos de calidad, no obstante, la liofilización permite mejores propiedades de hidratación, debido a las características y propiedades en los polvos obtenidos por esta técnica. Por lo tanto, para escoger una u otra tecnología se debe evaluar las características iniciales y finales requeridas del producto, así como los aspectos económicos implicados.

Palabras clave – procesamiento de frutas, secado por atomización, liofilización, polvos de frutas, propiedades de polvos.

I. INTRODUCCIÓN

Las frutas son fuente esencial en la dieta diaria, ya que el consumo adecuado de estas contribuirá positivamente en nuestra salud, así como la prevención de ciertas enfermedades [1]. Así mismo, los aromas y sabores que presentan permiten emplearlas en diferentes industrias, y debido a su gran aporte

de nutrientes al organismo, cada año presentan mayor demanda [2].

Por otro lado, la principal limitación para el consumo en fresco de estos alimentos es su corta vida útil, ya que por su alto contenido de agua son propensos a deterioro por acción microbiana, reacciones químicas o enzimáticas [3]. Es por esta razón, que se lleva a cabo el procesamiento de estas frutas para la obtención de productos como los polvos, los cuales son menos perecederos y representan un valor agregado. Entre los métodos de procesamiento y conservación de frutas, el secado es uno de los más antiguos y utilizados hasta la actualidad.

Entre los métodos de secado más utilizados en alimentos se encuentran el secado por aire caliente, el cual consiste en la remoción del agua del alimento mediante la aplicación de un flujo de aire a cierta velocidad y temperatura; secado al vacío, este método tiene como fundamento el aprovechamiento del descenso del punto de ebullición del agua con la disminución de la presión; la ósmosis, el cual se basa en disminución parcial de agua desde el alimento hacia una solución hipertónica debida a un gradiente de potenciales químicos, un flujo de soluto desde la solución hacia el alimento y una salida de solutos disueltos en el interior del alimento. Los métodos anteriormente mencionados son utilizados típicamente en productos sólidos. Mientras que, entre los métodos utilizados para secar productos fluidos se encuentran las tecnologías como la liofilización y atomización [4].

El secado por liofilización ha permitido una nueva alternativa para el procesamiento de frutas. La liofilización es un tipo de secado mediante el proceso de sublimación, la cual ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo del alimento están por debajo del punto triple del agua [5]. La liofilización se ha desarrollado para reducir pérdidas de aroma y sabor en los alimentos mediante la conservación en una cadena de frío indefinida, con un porcentaje de humedad del 15% y temperaturas muy bajas para evitar el crecimiento de microorganismos y la degradación de sus atributos que son muy sensibles en procesos como el secado a altas temperaturas [6].

En la fase I de la liofilización, la velocidad de sublimación aumenta continuamente hasta llegar a un punto límite debido al calentamiento de la muestra. Durante esta fase el 75% a 90% de

agua es removida, siendo un factor fundamental en la transferencia de calor por conducción. Es necesario recalcar que el tiempo de duración es relativamente corto [7].

Durante la fase II, se da una disminución crucial de la velocidad de sublimación, debido a la formación de una capa porosa de material seco, el cual genera una resistencia creciente al vapor y al flujo de calor. Así mismo, existe una reducción de la difusión desde la interfase de sublimación hacia la superficie del alimento [2].

En la última fase o en la segunda etapa difusiva, se señala que la velocidad de sublimación sigue en constante decrecimiento aproximándose a cero; esto se debe a que el calor aplicado para el retiro de agua ligada es más alto que el calor necesario para la sublimación. En esta etapa es donde se debe de aumentar la temperatura de calefacción y del alimento en sí hasta los 50° C para disminuir la humedad y evitar la difusividad de aromas [8].

Por otro lado, el secado de atomización es una operación de transferencia simultánea de calor y masa, en donde ocurre la transformación de un fluido, ya sea dispersión, solución, o pasta en un material sólido, atomizándola en forma de gotas en un medio de secado, obteniendo como producto un polvo [9].

Por lo tanto, la aplicación del secado en frutas es necesario para obtener polvos. Los polvos de frutas obtenidos como producto final se definen como un sistema complejo que tiene una gran dispersión en sus propiedades [10]. Estos deben presentar estabilidad microbiológica y fisico-química, aportar cualidades organolépticas y contribuir a mejorar las propiedades reológicas de los alimentos, por ello son utilizados ampliamente en la industria alimentaria [11].

La calidad de estos polvos y por consiguiente la aceptación por parte de los consumidores se basan en sus propiedades funcionales, cualidades que son influenciadas por el tamaño de las partículas, forma, porosidad, densidad y composición [10]. Estas características y propiedades de los polvos de frutas son determinadas por el método de secado empleado y las condiciones de procesamiento a las que son sometidos. Cabe mencionar también que durante el secado de dichos polvos pueden existir efectos adversos debido a la temperatura, presión, tiempo o adición de solutos empleados [24].

Por lo que, resulta indispensable estudiar las propiedades de los polvos obtenidos mediante distintas técnicas de secado y sus condiciones de procesamiento, para así poder seleccionar un método viable para su obtención y asegurar su calidad.

Por medio de la presente investigación, se pretende analizar los estudios científicos acerca del secado por atomización y liofilización en polvos de frutas en distintas condiciones de operación (temperatura, tiempo, presión y soluto) y describir sus efectos en las propiedades físicas (como densidad, porosidad), características morfológicas (forma y tamaño de partícula) y fisicoquímicas (humedad y a_w) de polvos de frutas en los últimos 11 años, utilizando diferentes bases de datos tales como: Scielo, ScienceDirect, PubMed, Google académico, Dialnet y Redalyc.

II. METODOLOGÍA

La presente revisión sistemática consistió en la búsqueda de artículos científicos, esta se realizó de acuerdo con las directrices aplicables establecidas por la declaración de elementos de notificación preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis (PRISMA) [12].

A. Búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica de los artículos científicos se realizó en 4 bases de datos o índices: Scielo, PubMed, ScienceDirect, Google académico, Dialnet y Redalyc. En el rango de años 2010 - 2021.

La cadena de búsqueda se desarrolló en base a las palabras clave “liofilización”, “atomización”, “aspersión”, “secado”, “propiedades físicas”, “fisicoquímico”, “características”, “polvos”, “polvos de frutas”, “frutas” y las keywords “lyophilization”, “freeze-drying”, “atomization”, “spray drying”, “drying”, “physical properties”, “physicochemical”, “characteristics”, “powder”, “fruit powders”, “Fruit” y combinación de las mismas mediante el uso de operadores booleanos “OR” y “AND” (Fig. 1).

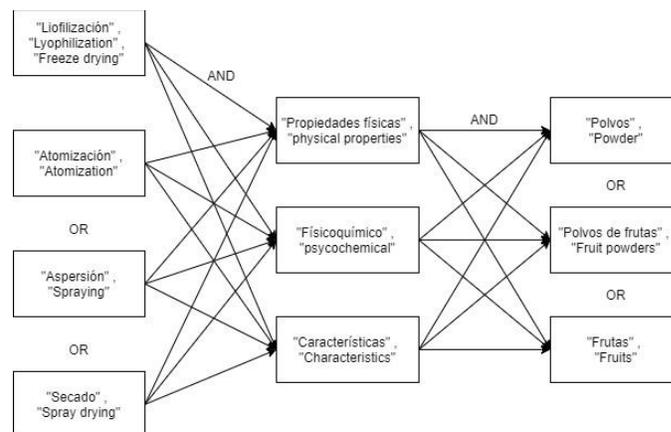


Fig. 1 Combinación de términos booleanos y palabras clave utilizadas en la búsqueda de información.

Con el fin de distinguir o precisar los artículos de interés para el estudio se aplicaron una serie de criterios iniciales de inclusión y exclusión.

B. Criterios de inclusión

- Estudios publicados en los idiomas inglés o español.
- Estudios publicados desde el año 2010 al 2021.
- Estudios estrechamente relacionados con las propiedades físicas y características morfológicas o fisicoquímicas de los polvos de frutas.
- Estudios que sean artículos científicos originales.
- Estudios en la temática de secado por liofilización o atomización para la obtención de polvos de frutas.

C. Criterios de exclusión

- Estudios que sean tesis, memorias o libros.

- Estudios en idiomas que no sean inglés y español.
- Estudios repetidos en las bases de datos.
- Estudios relacionados con polvos de otros vegetales.

D. Procedimiento de selección

En una primera etapa, se realizó una revisión manual de los artículos encontrados, teniendo en cuenta que el idioma sea inglés o español, y que no estén duplicados.

En una segunda etapa, se recuperó y evaluó cada documento considerando la totalidad del resultado de búsqueda. El manejo de descarte de los documentos repetidos se realizó mediante la comparación de: título, autor (es) y año de publicación. Para ello, se realizó primero una codificación correlativa de todos artículos encontrados, para luego ser ingresados en el programa Microsoft Excel, haciendo más fácil su revisión previa. Con la ayuda de los filtros, propios del software, se lograron descartar documentos duplicados y de los restantes se excluyeron por ser de una temática diferente, por ser tesis o libros y por no cumplir con los criterios de inclusión.

E. Procedimiento de análisis de la información

Para el análisis de información extraída de los artículos seleccionados, se hará uso del programa Microsoft Excel, en el cual mediante tablas dinámicas se clasificarán y graficarán los artículos teniendo en cuenta los criterios: título, base de datos, idioma y año de publicación. Asimismo, el tipo de fruta del cual se ha obtenido el polvo, tipo de secado y las condiciones del proceso.

Además, se realizarán gráficos de las variables estudiadas en los artículos como densidad, tamaño de partícula, humedad y actividad de agua.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Selección de artículos

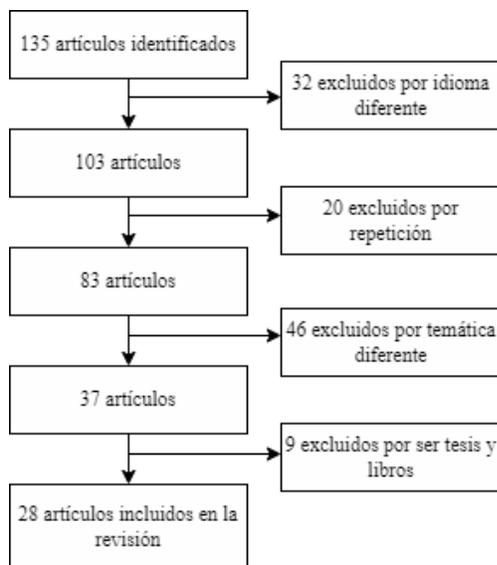


Fig. 2 Proceso de selección de los artículos incluidos en la revisión

La búsqueda de artículos en las bases de datos arrojó un total de 135 artículos, después de realizar el proceso de descarte, análisis y selección de documentos, según la Fig. 2, se obtuvieron un total de 28 artículos científicos.

De los 28 artículos que han sido considerados en la presente revisión sistemática, el 50% de documentos seleccionados pertenecen a la base de datos de Sciencedirect, manteniéndose como la fuente con mayor número de artículos.

Posteriormente se procedió a separar los artículos científicos por año de publicación. En la Fig. 3, se puede observar que el mayor número de documentos seleccionados fueron publicados es en el año 2017 con un total de 6 artículos.

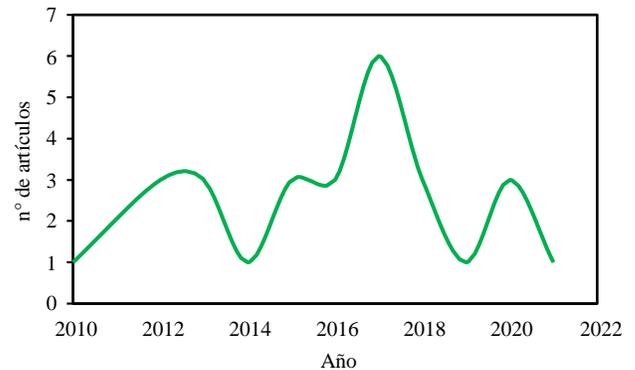


Fig. 3 Número de artículos científicos seleccionados por año de publicación.

Así mismo, se realizó una clasificación con respecto al idioma de publicación, donde la mayoría de las investigaciones científicas se encuentran publicadas en el idioma inglés, correspondiéndole un 71% del total de artículos seleccionados.

Por otra parte, de los 28 artículos seleccionados, se encontró que para las diferentes frutas en polvo 11 fueron procesadas por liofilización y 17 por atomización.

B. Secado por liofilización y atomización de frutas para obtención de polvos.

En la TABLA I se muestra la información de los artículos seleccionados en cuanto al autor, tipo de frutas y muestra procesadas y las condiciones en las que se aplicó la liofilización o atomización para deshidratar los productos y producir los polvos de frutas.

TABLA I
INFORMACIÓN RECOLECTADA DE CADA ARTÍCULO ANALIZADO

N°	Fruta	Tipo de muestra	Tipo de Secado*	Condiciones de proceso*	Referencia
1	Arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i>)	Zumo	L	Presión (< 0.003 mBar), T (-45°C), Tiempo (48 h)	[36]
2	Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Puré	A	T del aire de entrada 180° C, T del aire de salida 80° C, Maltodextrina 0.25 kg/kg sólidos de mango seco	[6]
3	Ciruela (<i>Prunus domestica</i>)	Rodajas	L	Presión (65 Pa), T (-60° C), Tiempo (24 h)	[23]
4	Carambola (<i>Averrhoa carambola</i>)	Pulpa	L	T de congelación (-38 +- 2), T del condensador (-50° C)	[34]
5	Piña (<i>Ananas comosus L.</i>)	Jugo	A	T aire de entrada (190° C), T aire de salida (90°C), Velocidad de atomizador (25000) rpm	[1]
6	Caqui (<i>Diospyros kaki</i>)	Pulpa	L	Presión (10 ⁻¹ mbar), Tiempo (24 h), Goma arábica (10%)	[19]
7	Pera (<i>Pyrus communis</i>)	Jugo	A	T aire de entrada (170° C), T aire de salida (88° C), Velocidad de atomizador (9860 rpm), Presión aire (0.74 Mpa)	[8]
8	Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	Pulpa	A	T aire de entrada (170° C), T aire de salida (85.8° C), Velocidad de atomizador (26676 rpm)	[17]
9	Caña panelera (<i>Saccharum officinarum</i>)	Concentrado	A	T aire de entrada (130° C), T aire de salida (75° C), Velocidad de atomizador (22000 rpm)	[9]
10	Zarzamora (<i>Rubus plicatus</i>)	Pulpa	A	T aire de entrada (146° C), T aire de salida (97° C)	[12]
11	Copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Pulpa	A	Presión aire (0.8 MPa), T de entrada (132° C)	[26]
12	Borojó (<i>Alibertia patinoides</i>)	Pulpa	A	T (-40° C), Presión (10 ⁻² Pa), Tiempo (48 h)	[24]
13	Caqui (<i>Diospyros kaki</i>)	Pulpa	L	Tiempo 48 h	[19]
14	Chirimoya (<i>Annona cherimola</i>)	Zumo	A	T aire de entrada (135° C), T aire de salida (75°C), Maltodextrina (15 g/Dl)	[33]
15	Piña (<i>Ananas comosus L.</i>)	Pulpa	A	T aire de entrada (175° C), T aire de salida(80°C)	[29]
16	Pitahaya (<i>Selenicereus undatus</i>)	Pulpa	L	T (-35°C), Tiempo (48 h), Presión (0.25 Mpa)	[38]
17	Guayaba (<i>Psidium guajava L.</i>)	Pulpa	L	T (-35°C), Tiempo (48 h), Presión (0.25 Mpa)	[38]
18	Granada (<i>Punica granatum</i>)	Zumo	A	T aire de entrada (124° C), Maltodextrina (25%), Velocidad de atomizador (11.300 rpm)	[14]
19	Melón (<i>Cucumis melo</i>)	Jugo	A	T aire de entrada (170° C), T aire de salida (90° C) Goma arábica (10%)	[35]
20	Sandía (<i>Citrullus lanatus</i>)	Jugo	A	T aire de entrada (125°C), T aire de salida (70°C), Presión de aire (0.025MPa)	[25]
21	Aronia (<i>Aronia melanocarpa</i>)	Jugo	A	T aire de entrada (170°C), T aire de salida (90°C)	[13]
22	Ciruela (<i>Prunus domestica</i>)	Jugo	A	T aire de entrada (145°C), T aire de salida (94.7°C), Presión de aire (0.45 Mpa)	[27]
23	Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Pulpa	A	Temperatura aire de entrada (150°C)	[39]
24	Guayaba pera (<i>Psidium guajava L.</i>)	Rodajas	L	T (-80°C), Tiempo (24 h), Presión de aire (0.023 mbar)	[32]
25	Pomelo (<i>Citrus aurantium</i>)	Pulpa	L	T (-55°C), Tiempo (48h), Presión de aire (0.05mbar)	[3]
26	Kiwi (<i>Actinidia deliciosa</i>)	Puré	A	T aire de entrada (150°C), T aire de salida (90°C)	[37]
27	Jamun (<i>Syzygium cumini</i>)	Zumo	A	T aire de entrada (160°C), aire de salida (80°C), Maltodextrina (25%), Presión (1 kg/cm ²)	[30]
28	Naranja (<i>Citrus X sinensis</i>)	Puré	L	T (-75°C), Tiempo (48h), Presión de aire (0.03mbar)	[40]

*Donde: L = Liofilización; A = Atomización; T = temperatura.

De acuerdo con los datos recolectados y plasmados en la TABLA I, el mango, caqui, piña y guayaba fueron las frutas más estudiadas en el proceso de obtención de polvos. Así mismo, el tipo de muestra más empleado en la liofilización es la pulpa y en la atomización es el jugo.

Además, para la obtención de polvos por liofilización en los distintos estudios, las condiciones de temperatura están en un rango de -35 a -80 °C, la mayoría con un tiempo de operación de 48 horas. Por otro lado, en el proceso de atomización las temperaturas de aire de entrada más empleadas son 170 °C, con una temperatura de salida que oscila entre 80 y 90 °C.

C. Efecto de la atomización o liofilización en las características y propiedades de polvos de frutas.

1) Características fisicoquímicas

Humedad

En la Fig. 5, se observa que los polvos de frutas que presentan mayor porcentaje de humedad son los que fueron obtenidos por medio del método de liofilización (L), cuyos valores se encuentran entre 1- 8%, en donde más destacan los polvos de caqui, guayaba y pitahaya. Por otra parte, el método de secado por atomización (A) permitió que los polvos presenten menor contenido de humedad, cuyos valores oscilan entre 1.11 y 5 %. Esto es debido a que en el segundo método de secado se emplean temperaturas altas, lo cual provoca un aumento en la evaporación de agua de las gotas atomizadas y, por ende, el contenido de humedad disminuye. Cabe mencionar, que esta característica junto a la actividad de agua es fundamental para determinar el tiempo de conservación del producto y permitirá establecer un adecuado almacenamiento.

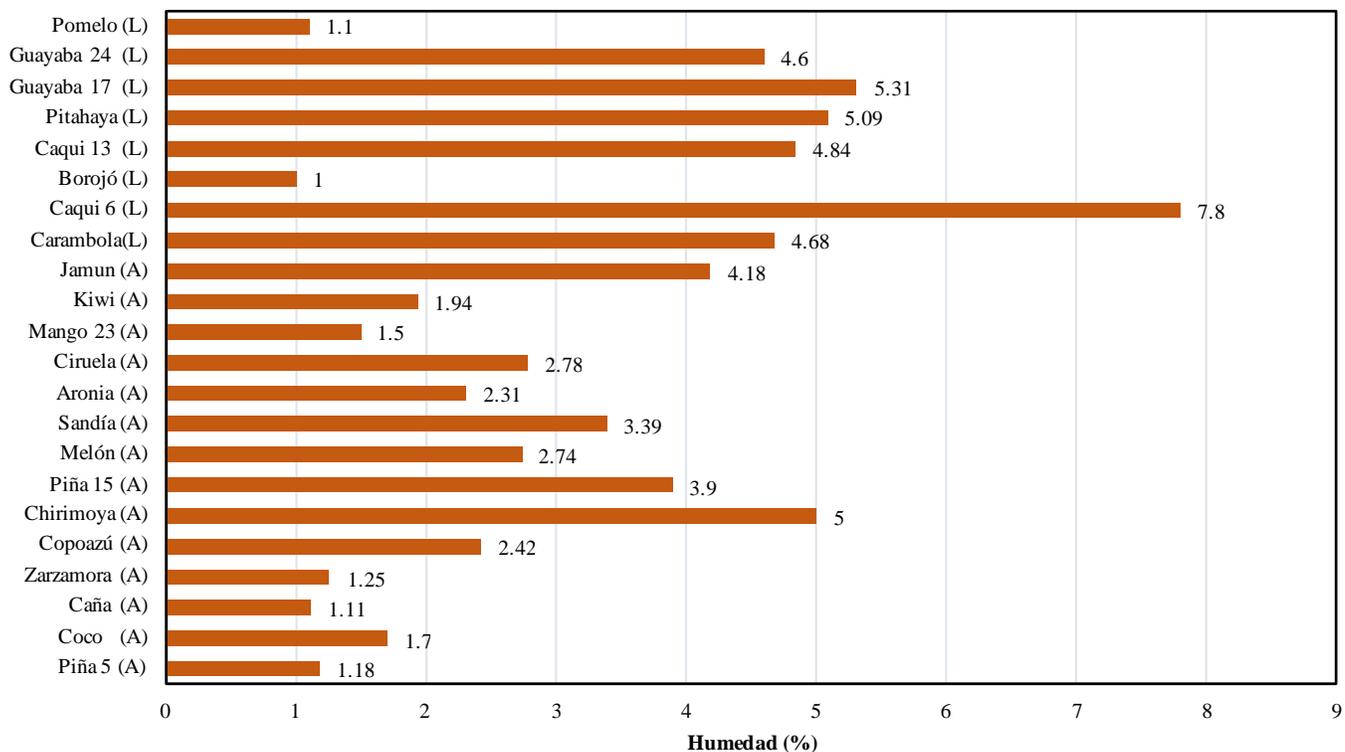


Fig. 4 Porcentaje de humedad (g agua/100 g de producto) de polvos de frutas liofilizados y atomizados.

Nota. (L) producto obtenido por liofilización; (A) producto obtenido por atomización. Para diferenciar productos semejantes, el número seguido del producto indica el número de estudio al cuál pertenecen.

El polvo de caqui liofilizado (6L) en condiciones de presión de 10^{-1} mBar, con adición de goma arábiga al 10%, es el producto que presenta mayor humedad [13]. Teniendo en cuenta que en el proceso de liofilización el agua congelada es eliminada por sublimación [14], la adición del soluto en las cantidades consideradas en el estudio de [15] podría no beneficiar el proceso de congelación, y, por ende, efectuarse un producto con mayor humedad retenida.

Por otro lado, [16] determinaron un contenido de humedad de 1.18% en polvo de piña atomizado (piña 5A) en condiciones de procesamiento de 190°C de temperatura de aire de entrada y 90 °C de aire de salida. Otros autores, como [17] también estudiaron la humedad del polvo de piña (piña 15A) hallando valores de 3.9 ± 0.11 , pero en condiciones de proceso diferentes, ya que la temperatura de aire de entrada fueron 175 °C y la de salida 80 °C. Estas diferencias encontradas en el

contenido de humedad, a pesar de haber sido procesada la misma fruta, se debe a la mayor temperatura, aumentando la capacidad del aire para contener humedad y haber reducido así aún más el contenido de humedad [18].

Actividad de agua (aw)

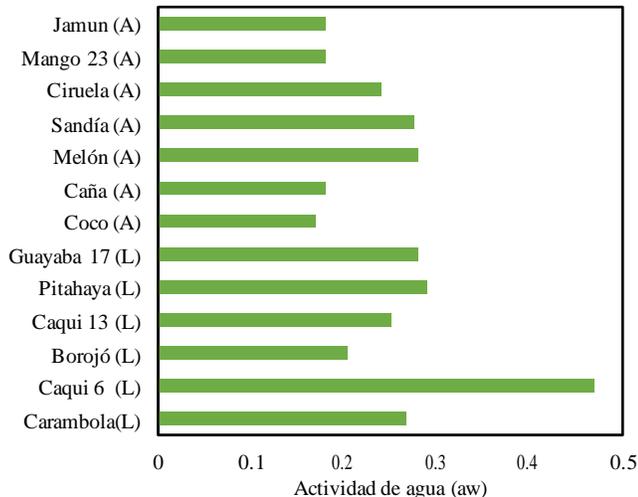


Fig. 5 Valores de actividad de agua de polvos de frutas liofilizadas y atomizadas.

Nota. (L) producto obtenido por liofilización; (A) producto obtenido por atomización. Para diferenciar productos semejantes, el número seguido del producto indica el número de estudio al cuál pertenecen.

La estabilidad de los polvos se alcanza cuando la actividad de agua se encuentra entre los valores de 0,2 y 0,4, que corresponde a la humedad de capa monomolecular y con ella se obtiene la conservación en condiciones ambientales definidas, ya que limitan la proliferación de microorganismos y las reacciones hidrolíticas, oxidativas y enzimáticas, extendiendo la vida útil del producto [19]. Según la Fig. 5, todos los productos en polvo muestran actividades de agua inferior a 0,5, esto significa que este tipo de productos son estables frente a reacciones que requieren de actividades de agua superiores.

Por otro lado, los polvos de frutas atomizadas tienden a presentar menor actividad de agua a diferencia de las frutas liofilizadas, esto se debe a la diferencia en su contenido de agua (la actividad de agua determina el equilibrio de humedad en el polvo), también se puede observar que el polvo de la fruta con mayor actividad de agua es el caqui deshidratado por liofilización: caqui 6 (L).

2) Propiedades físicas

Porosidad

Al analizar los artículos estudiados, se determinó como resultado la porosidad de las frutas en polvo, las cuales se encuentran en un intervalo de 60 – 93%. Asimismo, se obtuvo que el polvo de jamún procesado por atomización presenta 92.60% de porosidad [20], el mango 23 (A) presenta 70% [21],

la ciruela liofilizada presenta 73% [22] y la naranja procesada por liofilización muestra un porcentaje de porosidad de 60.90% [23].

Cabe recalcar que, la porosidad permite obtener óptimos resultados en la rehidratación de dicho producto. En el trabajo de investigación de [24] se analizó la rehidratación del polvo liofilizado de carambola, en donde las partículas tuvieron un aumento ligero, el cual fue de 0,722 g agua/g.m.h. Este proceso comprueba que, en la liofilización al emplearse temperaturas bajas, serán menores los daños térmicos y a su vez los grupos hidrófilos se verán mínimamente afectados, por lo que pueden retener el agua nuevamente con facilidad.

Por otra parte, la porosidad también cumple un factor importante en la humectabilidad, ya que al aumentar el tamaño de partícula también se aumenta la cantidad de poros y, en consecuencia, se aumenta la humectabilidad [25]. De acuerdo con [26], factores microestructurales como el tamaño de la partícula, la porosidad y la densidad influyen directamente en la humectación. Esta característica es de gran interés para la industria, ya que los polvos difíciles de humectar son desfavorables para el consumidor y para el diseño de productos.

Densidad aparente

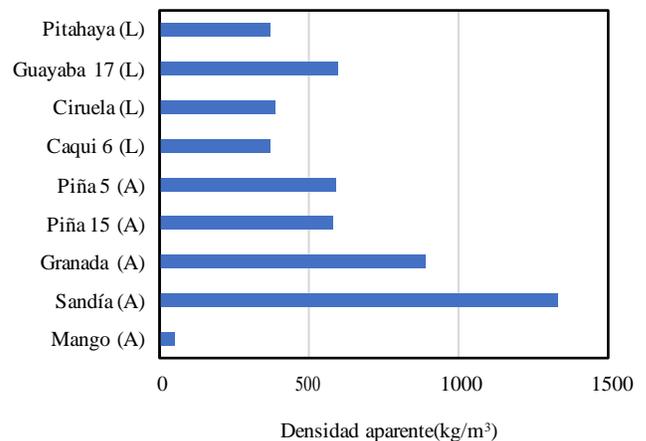


Fig. 6 Densidad aparente (kg/m³) de polvos de frutas liofilizadas y atomizadas.

Nota: (L) producto obtenido por liofilización; (A) producto obtenido por atomización. Para diferenciar productos semejantes, el número seguido del producto indica el número de estudio al cuál pertenecen.

En los resultados mostrados en la Fig. 6 se observa que para dos procesos de atomización en piña 5 (A) y piña 15 (A), las densidades aparentes obtenidas son muy semejantes, destacando la sandía como el polvo atomizado con mayor densidad y el mango como polvo atomizado con menor densidad.

Así mismo, se observa que las densidades de las partículas liofilizadas tienden a ser menores en comparación a las otras. Esto indica que existe una influencia en el método de secado empleado ya que, la temperatura y la duración de dichos procesos son diferentes y, además, también se verá influenciado

la distancia entre partículas con y sin compactar. Esto se relaciona con la porosidad, ya que como indica [27] una mayor porosidad o, lo que es equivalente, una densidad aparente más baja, se relaciona con un polvo con mayor volumen de aire distribuido entre las partículas y, por ende, más fluido.

Por tanto, los productos liofilizados son caracterizados por presentar valores más bajos de densidad aparente y mayor porosidad en comparación con otros productos deshidratados mediante atomización [28].

3) Características morfológicas

Tamaño de partícula

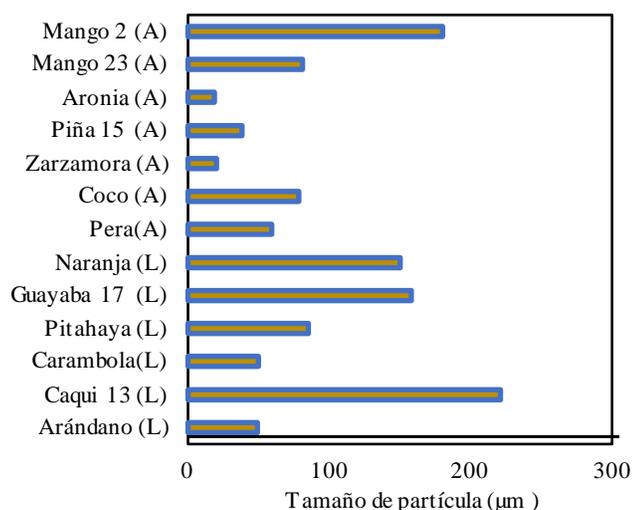


Fig. 7 Tamaño de partícula de polvos de frutas liofilizados y atomizados
Nota: (L) producto obtenido por liofilización; (A) producto obtenido por atomización. Para diferenciar productos semejantes, el número seguido del producto indica el número de estudio al cuál pertenecen.

En la Fig. 7, se observa que las partículas de los polvos obtenidos por medio de la liofilización presentan un mayor tamaño a comparación con el otro método de secado. Puesto que, en la atomización se utilizan boquillas las cuales van a permitir obtener partículas de menor proporción, pero a su vez esto también dependerá de la presión ya que, este influye en la trayectoria de salida de las partículas [29]. Asimismo, el polvo de mango 2 (A) tiene un mayor tamaño a pesar de que se realizó por el método de atomización y esto debido a que su presión es menor que los otros polvos atomizados [30].

Forma de partícula

Al analizar los 28 artículos, arrojaron como resultado que la forma de la partícula de las frutas en polvo que fueron procesadas por los dos tipos de secado (liofilización y atomización) son esféricas, a excepción de la zarzamora que fue procesada por atomización presentando una forma de partícula irregular [31].

Finalmente, considerando los 28 artículos seleccionados, el método más estudiado fue el secado por atomización en comparación con la liofilización. Esto se puede explicar, debido a que la liofilización resulta ser una técnica costosa, por los largos periodos de tiempo que demanda para obtener un producto en óptimas condiciones en comparación con el secado por atomización [32]. Para aplicar una u otra tecnología se recomienda evaluar las características iniciales y finales requeridas del producto, así como los aspectos económicos implicados.

Por otro lado, de todas las variables estudiadas, se obtuvo poca información acerca de la porosidad de los polvos de frutas atomizados y liofilizados. Por ello, se recomienda tomar en cuenta esta característica en próximos estudios, ya que está estrechamente relacionada con las propiedades funcionales que determinan la calidad de estos productos, como la humectabilidad. Así mismo, se recomienda realizar estudios en frutas poco difundidas, las cuales pueden ser procesadas por liofilización y atomización, en donde podemos destacar como grandes alternativas a la comúnmente conocida “cansa boca” (*Bunchosia armeniaca*), el pepino dulce (*Solanum muricatum*) y el litchi (*Litchi chinensis*).

IV. CONCLUSIONES

La revisión demostró que las técnicas de secado por liofilización y atomización permiten la obtención de polvos de frutas de calidad. Sin embargo, los polvos de frutas liofilizados son los que presentan un mayor tamaño de partícula y probablemente mejores propiedades de hidratación, ya que tienen mayor porosidad. Además, presentan baja densidad aparente y baja actividad de agua, a excepción de la humedad, donde los estudios de polvos de frutas atomizados indicaron un menor porcentaje de humedad.

Así mismo, las propiedades y características de dichos productos también dependen del tipo de fruta y de las condiciones de procesamiento a las que son sometidas. En el caso de secado por atomización, al emplear temperaturas altas de entrada se produce una rápida disminución en el contenido de humedad del polvo. Mientras que, en el proceso de liofilización la adición de solutos podría complicar el proceso de congelación, y, por ende, se obtendría un producto con mayor humedad retenida. Cabe resaltar que, los valores de humedad encontrados en los estudios de polvos liofilizados y atomizados son los adecuados para considerar a estos productos como estables y de buena calidad.

VI. REFERENCIAS

- [1] Abadio, F., Domingues, A., Borges, S., & Oliveira, V. (2004). Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice—effect of malt dextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64(3), 285-287.
- [2] Andrews, H. & Márquez, E. (2017). Tecnologías de nano/microencapsulación de compuestos bioactivos.
- [3] Astudillo, L. (2019). Aplicación de la atomización y la liofilización para la obtención de polvo y snack de pomelo.

- [4] Ceballos, A. (2008). Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta. Departamento de Ingeniería química.
- [5] Cabañas, B. P. (2018). Influencia del contenido en agua del puré de naranja en las propiedades del polvo obtenido por liofilización. 2017–2018.
- [6] Caparino, O., Tang, J., Nindo, C., Sablani, S., Powers, J., & Fellman, J. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine “Carabao” var.*) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135–148.
- [7] Castrillón, N., Pabón, B., & Reif-Acherman, S. (2011). Influencia de las condiciones del secado en el aterroramiento y la compactación del azúcar almacenado. *Ingeniería Y Competitividad*, 13(1).
- [8] Chang, G., Maruf, A., Gui, H. y Jong, B. (2017). Color, bioactive compounds and morphological characteristics of encapsulated Asian pear juice powder during spray drying. *Journal of Food Scientists & Technologists*.
- [9] Cortes, M., Ciro, H., Rodriguez, E. & Largo, E. (2012). Secado por aspersión de concentrado de caña panelera: Una tecnología apropiada para mejorar la competitividad de la cadena.
- [10] Cuq, B., Gaiani, C., Turchiuli, C., Galet, L., Scher, L., Jeantet, R., Mandato, S., Petit, J., Murrieta, I., Barkouti, A., Schuck, P., Rondet, E., Delaloue, M., Dumoulin, G., Delaplace, G. & Ruiz, T. (2013). Chapter Two - Advances in Food Powder Agglomeration Engineering. *Advances in Food and Nutrition Research*: 69, 41-103.
- [11] Cuq, B., Rondet, E. & Abecassis, J. (2011). Food powders engineering, between knowhow and science: constraints, stakes and opportunities. *Powder technology*, 208(2), 244-51.
- [12] Ferrari, C., Marconi, S. y Mauricio J. (2012). Effects of Spray-Drying Conditions on the Physicochemical Properties of Blackberry Powder. *Drying Technology: An International Journal*.
- [13] Gawalek, J. y Domian, E. (2020). Tapioca Dextrin as an Alternative Carrier in the Spray Drying of Fruit Juices—A Case Study of Chokeberry Powder. *Foods*, 9(8), 1125.
- [14] Jafari, S., Ghalegi, M., & Dehnad, D. (2017). Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. *Powder Technology*, 311, 59–65.
- [15] Karam, M., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire, E. & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *J. Food Eng.* 188, 32–49.
- [16] Lin, S. (1995). Thermal control of freeze-drying processes in a porous medium with predetermined rate of drying. *Butterworth Heinemann*, 18(3), 161-167.
- [17] Lucas, J. (2017). Optimización del proceso de secado por aspersión para la obtención de polvo seco (*Cocos nucifera L.*) fortificado con compuestos fisiológicamente activos. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- [18] Marques, L., Ferreira, M. & Freire, J. (2007). Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra L.*). *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 451–457.
- [19] Martinez, R., Landines, F., Herdia, A., Castelló, M y Andrés, A. (2017). Influence of drying process and particle size of persimmon fibre on its physicochemical, antioxidant, hydration and emulsifying properties. *Journal of Food Scientists & Technologists*.
- [20] Martínez, D. (2016). Estudio de la deshidratación de subproductos de caqui para la obtención de productos en polvo. Propuesta de diseño de un secador continuo. 2014–2015.
- [21] Menshutina, N., Korneeva, A., Goncharova, S., & Leuenberger, H. (2004). Modeling of freeze drying in fluidized bed. *Proceedings of the 14th International Drying -Symposium, Silva, MA et al., Eds., Sao Paulo, Brazil*, 680-686.
- [22] Medina, C. (2015). *Estudio del proceso de deshidratación de alimentos frutihortícolas: empleo de microondas y energía solar*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata.
- [23] Michalska, A., Wojdyło, A., Lech, K., Łysiak, G. & Figiel, A. (2016). Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food Chemistry*, 207, 223–232.
- [24] Mosquera, L. (2010). Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábiga) en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo. *Theoretical and Applied Genetics*, 7(2), 1–7.
- [25] Oberoi, D. & Sogi, D. (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 165, 172-178.
- [26] Pinheiro, J., Berredo, H., Da Silva, R. (2020). Optimization of the spray drying process for developing cupuassu powder. *Journal of Food Scientists & Technologists*, 57(12), 4501–4513.
- [27] Quek, S., King, N y Swedlund, P. (2017). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392
- [28] Rahman, M. (2001). Toward Prediction Porosity in Foods During Drying: A Brief Review in *Foods Dry. Technol.*, 19, 1–13.
- [29] Saifullah, M., Yusof, Y., Chin, N. & Aziz, M. (2016). Propiedades fisicoquímicas y de fluidez del polvo de fruta y su efecto sobre la disolución de comprimidos de polvo de fruta de rápida disolución. *Tecnología en polvo*.
- [30] Santhalakshmy, S., Don Bosco, S., Francis, S., & Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*.
- [31] Sapper, M., Martínez, N. & Camacho, M. (2015). Medida de las propiedades físicas de productos de fruta en polvo. *Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria*, 1–19.
- [32] Serpa Guerra, A., Vásquez Osorio, D., Castrillón Martínez, D., & Hincapié Llanos, G. (2015). Comparison of two dehydration techniques for “pear” guava (*Psidium guajava L.*) on the effects of the vitamin C content and on the behavior of the technical and functional properties of the dietary fiber. *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1), 10–20.
- [33] Shrivastava, A., Tripathi, A., Paul, V., & Chandra Rai, D. (2021). Optimization of spray drying parameters for custard apple (*Annona squamosa L.*) pulp powder development using response surface methodology (RSM) with improved physicochemical attributes and phytonutrients.
- [34] Talavera, W. (2018). Efecto de la liofilización en las propiedades fisicoquímicas y vida útil de la carambola (*Averrhoa carambola L.*) en polvo.
- [35] Tan, S., Sulaiman, R., Rukayadi, Y., & Ramli, N. (2020). Physical, chemical, microbiological properties and shelf life kinetic of spray-dried cantaloupe juice powder during storage.
- [36] Tao, Y., Wu, Y., Yang, J., Jiang, N., Wang, Q., Chu, D., Han, Y. & Zhou, J. (2018). Thermodynamic sorption properties, water plasticizing effect and particle characteristics of blueberry powders produced from juices, fruits and pomaces. *Powder Technology*.
- [37] Wu Ng, Y. (2013). Impacto de la adición de carboximetilcelulosa en la calidad de kiwi en polvo obtenido por liofilización y atomización.
- [38] Zea, LP, Yusof, YA, Aziz, MG, Ling, CN y Amin, NAM (2013). Características de compresibilidad y disolución de tabletas de frutas mixtas elaboradas a partir de polvo de fruta de guayaba y pitaya. *Tecnología en polvo*, 247, 112-119.
- [39] Zotarelli, M., Martins, V., Durigon, A., Dupas M. y Borges, J. (2017). Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technology*, 305, 447-454
- [40] Peñalver Cabañas, B. (2018). Influencia del contenido en agua del pure de naranja en las propiedades del polvo obtenido por liofilización. <http://hdl.handle.net/10251/110258>