

# **NANOSPRAY DRYING, UNA TÉCNICA INNOVADORA PARA LA ENCAPSULACIÓN DE PIGMENTOS NATURALES: UNA CORTA REVISIÓN**

**NANOSPRAY DRYING AN INNOVATIVE TECHNIQUE FOR NATURAL PIGMENTS ENCAPSULATION: A SHORT REVIEW**

**MARÍA CAROLINA OTÁLORA**

*Química de Alimentos*

*Dr. Ciencia y Tecnología de los Alimentos*

*Grupo de Investigación Núcleo*

*Universidad de Boyacá, Colombia*

*marotalora@uniboyaca.edu.co*

**ANDREA WILCHES TORRES**

*Química de Alimentos*

*Dr. Química*

*Grupo de Investigación Núcleo*

*Universidad de Boyacá, Colombia*

*andreawilches@uniboyaca.edu.co*

**JOVANNY ARLÉS GÓMEZ CASTAÑO**

*Químico*

*Dr. Química*

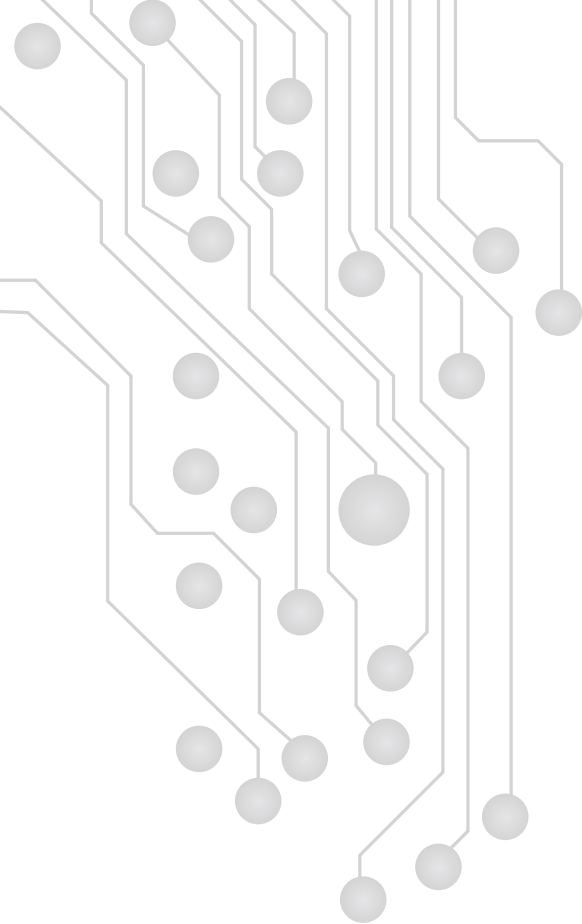
*Grupo de Investigación Química-Física Molecular y Modelamiento Computacional - QUIMOL*

*Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*

*jovanny.gomez@uptc.edu.co*

Recibido: 23/ Agosto/ 2022

Aceptado: 26/ mayo/ 2023



## RESUMEN

Actualmente existe una tendencia creciente por el desarrollo de colorantes naturales y su implementación como ingrediente en el diseño de alimentos funcionales. Dado que estos pigmentos bioactivos son muy sensibles a las condiciones ambientales, la tecnología de nanoencapsulación, utilizando secado por aspersión, ha surgido como una solución prometedora para subsanar este problema, y consolidarse como sistema útil de entrega en matrices alimentarias. Esta revisión bibliográfica se centra en los fundamentos de la técnica y sus aplicaciones en la industria alimentaria. Los hallazgos científicos reportados hasta el momento confirman que la tecnología del nanosecado por aspersión ha sido una herramienta idónea para obtener colorantes naturales, aunque faltan temas por abarcar. Mediante esta técnica es posible producir nanopartículas en polvo, con una distribución de tamaño uniforme a partir de un volumen de alimentación reducido, lo que se correlaciona con un alto rendimiento, cercano al 90 %. El principal desafío está enmarcado en determinar los mecanismos de liberación de los nanoencapsulados en sistemas alimentarios y la eficiencia de aplicación en condiciones gastrointestinales.

**Palabras clave:** nanoencapsulación, pigmentos bioactivos, colorantes naturales.

## ABSTRACT

Currently there is a growing trend for development and use of natural colorants in functional foods design. These bioactive pigments are very sensitive to environmental conditions, for that, nanoencapsulation technology using spray drying, has emerged as a promising solution to overcome this problem, turning into a useful delivery system in food matrices. This review focuses on the fundamentals and applications of the technique in food industry. Reports confirm that nano spray drying technology has been an ideal tool for obtaining natural colorants, although there are still issues to cover. Using this technique, it is possible to produce powder nanoparticles with a uniform size distribution from a reduced feed volume, which correlates with a high yield, near to 90%. The main challenge is determinate the release mechanisms of nanoencapsulates in food systems and its application efficiency in gastrointestinal conditions.

Citar este artículo así:

Otalora M., Wilches A., Gómez J. Nanospray Drying, Una Técnica Innovadora para la Encapsulación de Pigmentos Naturales: Una Corta Revisión Revista I3+, 5(1), 77 - 90 p.p

**Keywords:** nanoencapsulation, bioactive pigments, natural colorants.

## INTRODUCCIÓN

El color es uno de los atributos más importantes de un alimento; es considerado un indicador de la calidad y aceptabilidad; sin embargo, durante las etapas de procesamiento y almacenamiento es susceptible de perderse. Por ello, la industria alimentaria utiliza colorantes, sustancias que al aplicarse a un sustrato buscan resaltar, recuperar y uniformar la tonalidad original del producto alimenticio. Estos colorantes pueden ser tanto de origen natural como sintético. Los colorantes naturales ganan terreno en la industria, debido al avance de las tecnologías alimentarias y a la creciente demanda de parte de los consumidores por formulaciones más naturales, es decir, productos con etiqueta limpia, que minimicen el riesgo de peligros alimentarios; esto en contraste a los colorantes sintéticos existentes en el mercado, a los que han sido asociados efectos negativos en la salud, incluyendo alergias, irritabilidad y déficit atencional, entre otros (Siró *et al.*, 2008).

Los colorantes naturales de origen vegetal son compuestos fenólicos (antocianinas y flavonoides), carotenoides y betalainas, entre otros, que han despertado el interés en la industria de alimentos debido a su competitividad en términos de rendimiento, calidad y costo, así como por sus propiedades beneficiosas para la salud, como la prevención de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, visuales, obesidad, cáncer y diabetes, entre otras (Muhamad *et al.*, 2018).

A pesar de los múltiples beneficios con los que se relaciona el uso de pigmentos naturales en la industria alimentaria, se ve limitado debido a su baja estabilidad frente a factores ambientales (luz, oxígeno, calor, pH y humedad), de procesamiento (cizallamiento) y la interacción con otros ingredientes alimentarios y/o gastrointestinales, lo que genera baja biodisponibilidad. En este contexto, la utilización de la encapsulación se presenta como una estrategia promisoriosa para subsanar este tipo de inconvenientes (Hamed Hosseini, 2020).

La encapsulación se ha definido como una técnica atractiva mediante la cual se concentra y protegen compuestos inestables (material de núcleo) dentro de una matriz de naturaleza polimérica (material de pared), con la que se busca mejorar la funcionalidad, solubilidad, biodisponibilidad y liberación controlada de sustancias bioactivas (Muhamad *et al.*, 2018; Hamed Hosseini, 2020).

Las técnicas de encapsulación pueden ser ampliamente clasificadas en tres categorías: (i) técnicas químicas, como polimerización *in situ*; (ii) técnicas físicas, en las que se incluye extrusión, emulsión, secado por aspersión, enfriamiento por atomización, recubrimiento por lecho fluidizado, cocrystalización e inclusión molecular, y (iii) técnicas fisicoquímicas, en las que se destaca la coacervación y la gelación iónica (Chopde *et al.*, 2020).

La técnica de encapsulación puede clasificarse ampliamente en microencapsulación (50-200  $\mu\text{m}$ ) y nanoencapsulación (1-100 nm). Esta última ha tomado gran interés en la industria alimentaria y farmacéutica en términos de calidad y biodisponibilidad (Chopde *et al.*, 2020).

Las nanopartículas son partículas sólidas coloidales, de forma circular, con diámetros que varían de 10 a 1000 nm. El reducido tamaño de estas partículas incrementa la solubilidad instantánea, la estabilidad y biodisponibilidad, también aporta mejoras a nivel sensorial y actividad fisiológica de los compuestos bioactivos encapsulados, lo que se puede explicar basándose en una mayor relación superficie-volumen de las nanopartículas en comparación con las micropartículas (Huang *et al.*, 2010).

La producción de nanopartículas se lleva a cabo por tres métodos: (i) métodos fisicoquímicos: corresponden a la creación de nanopartículas utilizando polímeros preformados e induciendo su precipitación por emulsificación- evaporación del disolvente, difusión o salado inverso; (ii) métodos de síntesis química *in situ* de macromoléculas: hace referencia a la producción de nanopartículas basada en reacciones de policondensación o polimerización interfacial, y (iii) Métodos mecánicos: se relacionan con la elaboración de nanopartículas utilizando dispositivos de alta energía como homogeneizadores de alta presión, secador de nanopulverización, sonicadores o molinos húmedos (Li *et al.*, 2010).

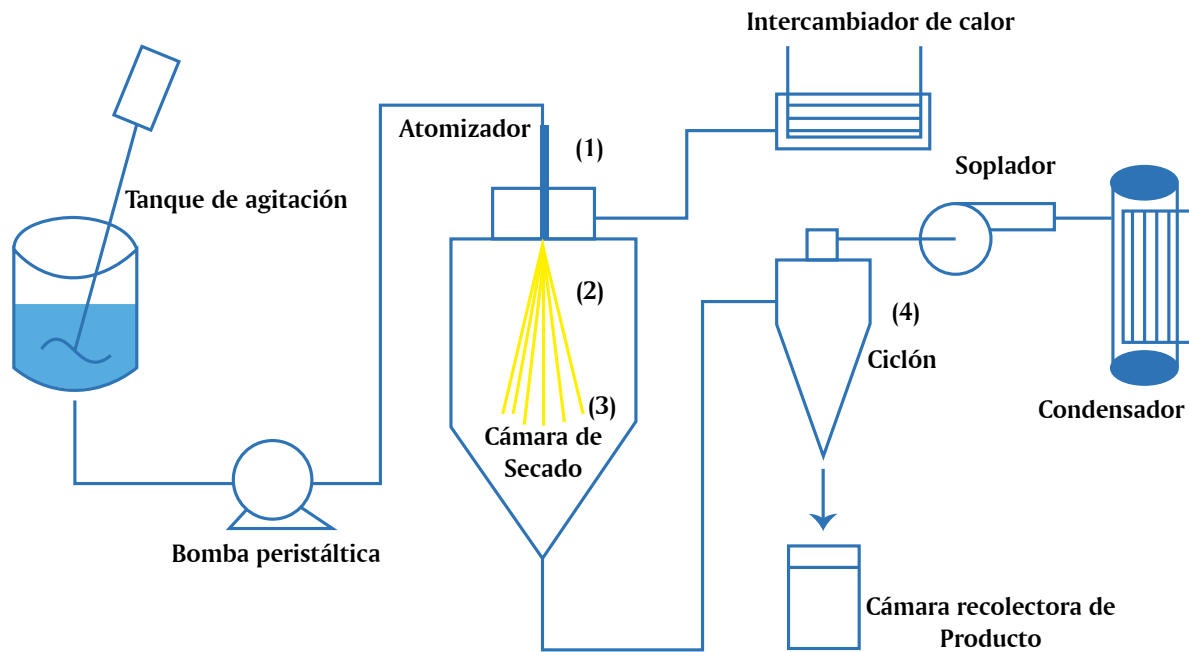
Entre los métodos mecánicos se destaca el secado por aspersión para la producción de partículas. Esta técnica es la más utilizada en la industria de alimentos y se caracteriza por su versatilidad, viabilidad comercial, simplicidad, rapidez, fácil operación y control. El secado por aspersión es un proceso continuo y escalable que permite que un alimento en estado líquido, solución, suspensión, emulsión o dispersión sea atomizado (rotativo, boquilla de presión o boquilla de fluido doble), en forma de finas gotas en un flujo de aire caliente, formando instantáneamente partículas secas (polvos, gránulos o aglomerados de tamaño reducido), debido a la rápida evaporación del agua (Gharsallaoui *et al.*, 2007).

El secado por aspersión comprende las siguientes cuatro etapas (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015) (Figura 1):

- Atomización de la solución de alimentación
- Contacto entre la alimentación atomizada y el medio de secado (aire caliente)
- Evaporación instantánea de la humedad
- Separación y recolección de partículas

**Figura 1**

*Diagrama de flujo del proceso de secado por atomización*



*Fuente: adaptado de spray drying process.png*

*(Wikimedia Commons, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spray\\_drying\\_process.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spray_drying_process.png))*

En este proceso la solución de alimentación que contiene un componente activo se divide en gotas finas de gran superficie mediante un atomizador (rotativo, boquilla de presión o boquilla de fluido doble). El gas de secado entra en dirección tangencial al techo del secador por atomización. Posteriormente, la temperatura del gas aumenta hasta el valor establecido como temperatura de entrada, el cual fluye continuamente a través de la cámara de secado. Cuando las gotas finamente divididas entran en contacto con el aire caliente, pierden la humedad instantáneamente. Finalmente, se forman partículas sólidas, las cuales son separadas de la corriente del aire en función de la masa. (Li *et al.*, 2010).

Sin embargo, el tamaño de las gotas generadas por estos atomizadores convencionales es mucho mayor que el rango submicrónico y de nanoescala, es decir, se obtienen partículas de 30 a 120  $\mu\text{m}$  con un atomizador rotativo, de 120 a 250  $\mu\text{m}$ , con una boquilla de presión, y de 30 a 150  $\mu\text{m}$ , con una boquilla de fluido doble. Por lo tanto, para producir nanopartículas submicrónicas con un buen rendimiento, se hace necesario utilizar el secador por nanoatomización, tecnología innovadora capaz de producir y recolectar partículas submicrónicas a partir de una solución, nanosuspensión o nanoemulsión (Li *et al.*, 2010; Arpagaus *et al.*, 2017).

Esta revisión está enmarcada en el estudio de la técnica de secado por *nanospray-drying*, utilizada para encapsular compuestos bioactivos de origen vegetal, tema de interés para la industria en el área de colorantes alimentarios.

## **Nanospray Drying**

Los secadores de nanoatomización están destinados a producir millones de nanopartículas, en el rango submicrónico, de tamaño continuo, a partir de cantidades mínimas de una solución / nanoemulsión / nanosuspensión, utilizando una innovadora tecnología de atomización piezoeléctrica.

## **Materiales de Pared**

En el proceso de nanoencapsulación, la selección del material de pared es un paso crucial; estos materiales deben proporcionar buenas propiedades de emulsificación, alta temperatura de transición, sabor neutro, no higroscópicos, fácilmente disponibles y económicos (Arpagaus, 2019). Los materiales de pared más populares y tradicionalmente utilizados son polisacáridos (maltodextrina, goma arábica, quitosano, pectina, alginato) y proteínas (proteínas de suero, caseinatos, gelatina) de forma independiente o en combinación.

En este contexto, la nanoencapsulación de compuestos fenólicos incluye el uso de quitosano/Tween 20 (O'Toole *et al.* 2012), albumina de suero humano (Jain., 2014),  $\beta$ -ciclodextrina (Malapert *et al.* 2019) como materiales de pared.

Por otro lado, la encapsulación de carotenoides incluye el uso de maltodextrina (Kyriakoudi and Tsimidou, 2018) como material de pared.

Actualmente hay una tendencia en extraer materiales de pared con propiedades funcionales, con el fin de diseñar productos de etiqueta limpia, una exigencia del consumidor actual.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El gas de secado entra a la cámara en flujo laminar desde arriba y se calienta a la temperatura de entrada ajustada.

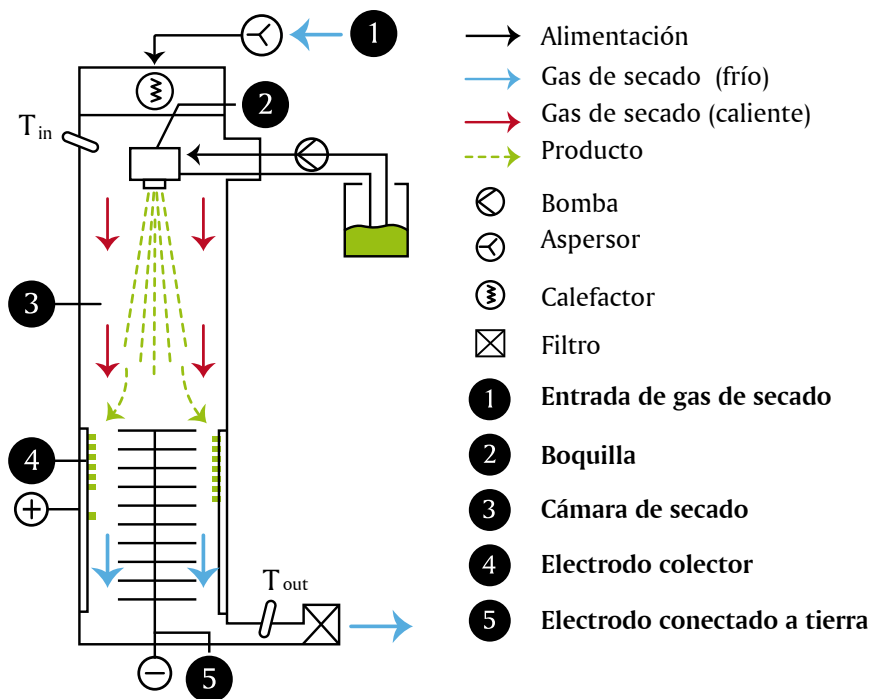
Una bomba peristáltica de velocidad variable hace circular la solución alimentadora de manera uniforme desde el depósito de alimentación a través del cabezal de pulverización hasta la malla de pulverización y de regreso al depósito. El cabezal de pulverización genera gotas ultrafinas que se secan suavemente convirtiéndose en partículas sólidas. La generación de gotas de tamaño uniforme se basa en un actuador piezoeléctrico con una membrana (malla de pulverización) fina, perforada, en vibración dentro de una pequeña caperuza de pulverización. El actuador funciona a una frecuencia ultrasónica, lo que hace que la membrana vibre expulsando millones de gotas del tamaño exacto cada segundo, con una distribución de gotas de tamaño restringido e idénticas.

Las partículas sólidas secas poseen carga electrostática y se recogen en el electrodo colector. El gas de secado sale del secador por pulverización, se mide la temperatura de salida y, además, se filtra el gas (Arpagaus *et al.*, 2017).

En la Figura 2 se muestra el esquema del principio técnico del *nanospray drying*.

**Figura 2**

*Esquema del principio técnico del nanospray drying*



*Fuente: adaptado de Arpagaus et al., 2017.*

## PARÁMETROS DEL PROCESO

La aceptabilidad de las partículas sólidas se ve afectada principalmente por la uniformidad y la calidad de las mismas en tamaño, morfología y rendimiento, aspectos en los que influyen los parámetros del proceso de secado, como lo son la velocidad de alimentación, la temperatura de entrada y salida, el tipo de atomizador y la presión / velocidad de atomización, entre otros. (Chopde *et al.*, 2020).

### Tamaño de Partícula

El tamaño de las partículas guarda una relación directa con el tamaño de los poros de la malla de pulverización. Una malla de pulverización con un tamaño de abertura pequeño emana gotas mucho más finas y, por lo tanto, da como resultado un tamaño de partícula más bajo del producto final, es decir,



para obtener partículas submicrométricas se debe utilizar una malla de pulverización de 4,0 mm. Li et al. (2010) reportaron tamaño de partículas de 355, 420, 515 y 800 nm, atomizando soluciones de alimentación de goma arábica, proteína de suero, cloruro de sodio y trehalosa preparadas en agua al 0,1 % (p/v) (disolvente), respectivamente, a través de una malla de pulverización con un tamaño de poro de 4,0 mm.

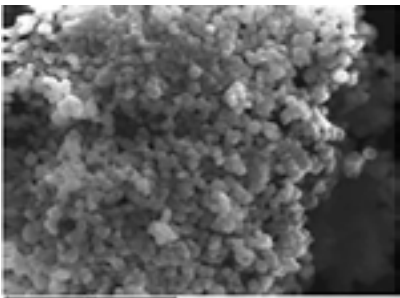
Por otro lado, a una baja concentración de sólidos en la solución de alimentación se obtiene un producto final con un tamaño de partícula más pequeño. Por lo general, las concentraciones de sólidos están en un rango de 0,1 a 1 % (p/v), para generar partículas sólidas submicrónicas de hasta 100 nm (Jafari et al. 2021).

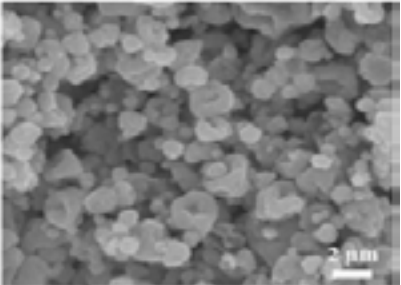
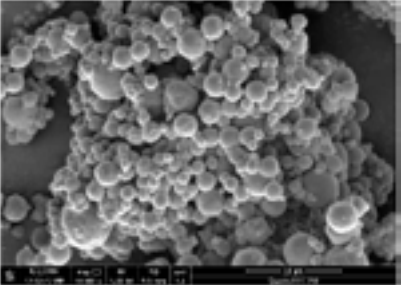
### Morfología de Partículas

La morfología de las partículas es el resultado de la interacción entre las propiedades del gas de secado (temperatura de entrada, temperatura de salida y velocidad de flujo) y las de la alimentación (concentración de sólidos, coeficiente de difusión de solutos y calor latente del solvente) dando como resultado una combinación de los siguientes tipos de morfología como se muestra en la Figura 3.

#### Figura 3

*Imágenes SEM de pigmentos naturales en polvo secados por nanoaspersión*

Tipo de Morfología	Micrografía	Referencia
Partículas lisas y esféricas (extracto de azafrán usando una malla de pulverización de 4,0 mm)		Kyriakoudi, A & Tsimidou, M. Z. (2018)

Tipo de Morfología	Micrografía	Referencia
Partículas uniformes y esféricas sin la presencia de grietas (extracto de cúrcuma, usando una malla de pulverización de 5,5 mm)		Chang et al. (2017)
Partículas esféricas con rugosidad (oleoresina de pimentón, usando una malla de pulverización de 5,5 mm)		Díaz et al. (2018)

### Rendimiento de Partícula

El rendimiento de partícula está relacionado con los parámetros de secado, es decir, la temperatura de entrada, la velocidad del flujo de gas de secado, el tamaño de malla de aspersión y la concentración de sólidos. Por otro lado, esta tecnología se caracteriza porque se obtiene un alto rendimiento con poco volumen de solución de alimentación, es decir, con un secador por aspersión tradicional se alcanza un rendimiento del 50-70 % a partir de 30 ml de solución de alimentación, en contraste a un secado por *nanospray drying*, en el cual se obtiene un rendimiento de hasta 90 % a partir de 2 ml de solución de alimentación (Jafari *et al.* 2021). En la Tabla 1, se muestra el rendimiento de partícula en relación a los parámetros de secado.

**Tabla 1***Estudios de nanoencapsulación de pigmentos naturales*

Compuesto bioactivo	Material encapsulante	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	Flujo de aire (L/min)	Rendimiento de partícula (%)	Referencia
Extracto de isoflavonas de soja	Carboximetilcelulosa	60	N/A	100	61,2–87,1	Del Gaudio et al., 2017
Oleoresina de pimentón	Maltodextrina	110	N/A	100	63,46	Díaz et al., 2019
Hidroxitiroso (compuesto fenólico)	$\beta$ -ciclodextrina	100	N/A	100	53	Malapert et al., 2019
Lipasa	Dextrina	80, 100 y 120	N/A	100	21,5–90	Abdel-Mageed et al., 2020

N/A: no aplica

## Aplicaciones de la Nanoencapsulación en la Producción de Aditivos Alimentarios Bioactivos

En la actualidad la inclusión de aditivos naturales (compuestos bioactivos) con beneficios adicionales para la salud es una ventaja competitiva en el campo de la industria de alimentos. Una gran cantidad de estos compuestos bioactivos son sensibles a las condiciones ambientales y de procesamiento, por lo cual se hace necesario aislarlos de estos factores hasta su liberación en el medio de destino. Una forma eficiente de realizar esta protección es mediante la técnica de *spray drying*, la cual está siendo ampliamente utilizada a nivel mundial.

Existen varios ejemplos en el mercado mundial, en los cuales la nanoencapsulación ha sido utilizada para la generación de aditivos alimentarios; algunos de estos casos son el de Aquanova® Novasol® (<https://aquanova.de/>), que desarrolló micelas poliméricas en las cuales encapsuló antioxidantes y suplementos; NutraLease, que generó las NSSL (estructuras líquidas autoensambladas de tamaño nanométrico) para encapsular moléculas lipídicas (<https://www.nanotechproject.tech/cpi/browse/companies/nutralease-ltd/>); Lycored, que desarrolló Lycomato® (<https://www.lycored.com/>) como nanocápsulas de licopeno

de tomate para ser usadas como suplemento nutricional, y Nanoceuticals™ Slim Shake Chocolate, que usa la encapsulación para vehiculizar partículas de chocolate que potencien el sabor de la bebida (<https://www.nanotechproject.tech/cpi/products/nanoceuticalstm-slim-shake-chocolate/>), entre muchos otros productos.

Así mismo, una amplia gama de pigmentos vegetales nanoencapsulados han sido desarrollados como colorantes alimentarios naturales, lo que a nivel industrial exhibe un nuevo horizonte en el desarrollo de productos alimenticios funcionales. Sin embargo, todavía existen algunos desafíos importantes que deben ser abordados.

En primer lugar, para incorporar pigmentos naturales nanoencapsulados en los alimentos, se debe llevar a cabo una ruptura de la cápsula y la consiguiente liberación de los mismos en la matriz alimentaria, que a su vez y, dependiendo de si dicha matriz es de naturaleza acuosa o lipídica, puede afectar negativamente el sabor, color, olor y, en consecuencia, la aceptabilidad del producto final.

En segundo lugar, para reclamar la funcionalidad/eficacia de los pigmentos nanoencapsulados en un alimento específico, existen retos regulatorios y pautas por establecer, que aún no están claras en algunos países como Colombia.

En tercer lugar, la toxicidad de algunos colorantes encapsulados sobre una determinada dosis, así como la toxicidad de las nanopartículas fabricadas todavía está en duda, es decir, falta investigación científica que permita establecer las pautas sobre los niveles de seguridad (digestión y metabolismo) de los ingredientes bioactivos nanoencapsulados. (Rashidinejad & Jafari, 2020)

## CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS

El color es un atributo esencial que contribuye a la evaluación de la calidad de los alimentos. Los colorantes naturales (pigmentos) se consideran ingredientes promocionales de la salud que exhiben varias funciones beneficiosas y son una alternativa prometedora a los tradicionales colorantes sintéticos. En los últimos años se ha aumentado la investigación enfocada a mejorar la estabilidad (frente a factores ambientales) de los pigmentos naturales, incluyendo antocianinas, flavonoides y carotenoides, así como en la liberación controlada de los mismos mediante la técnica de nanoencapsulación. Esta técnica de secado permite obtener nanopartículas en polvo con una distribución de tamaño homogénea y con un alto rendimiento, lo que es especialmente útil cuando se trabaja con materias primas costosas. Un desafío es identificar los mecanismos de liberación de los nanoencapsulados en sistemas alimentarios y determinar la eficiencia de aplicación en condiciones gastrointestinales. Ciertamente,

se necesita más investigación en esta área, así como en la búsqueda de materias primas de las que se pueda extraer pigmentos y ampliar la gama de colores de los ya existentes, claro está con cualidades beneficiosas para la salud del consumidor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Mageed, H. M.; Fouad, S. A.; Teaima, M. H.; Radwan, R. A.; Mohamed, S. A. & AbuelEzz, N. Z. (2021). Engineering lipase enzyme nano-powder using nano spray dryer BÜCHI B-90: Experimental and factorial design approach for a stable biocatalyst production. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 16, 759–771.
- Anandharamkrishnan, C. & Ishwarya, S. P. (2015). *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation*. John Wiley and Sons Ltd., United Kingdom.
- Arpagaus, C.; John, P.; Collenberg, A. & Rütli, D. (2017). Nanocapsules formation by nano spray drying. In: Jafari, S.M. (Ed.), *Nanoencapsulation Technologies for the Food and Nutraceutical Industries*. Elsevier Inc., United Kingdom, 346–401.
- Arpagaus, C. (2019). Chapter 4: Production of food bioactive-loaded nanoparticles by nano spray drying. In S. M. Jafari (Ed.), *Nanoencapsulation of food ingredients by specialized equipment: Volume 3 in the nanoencapsulation in the food industry series 3*, 151. Elsevier Inc, 1-68.
- Chang, C.; Wang, T.; Hu, Q. & Luo, Y. (2017). Caseinate-zein-polysaccharide complex nanoparticles as potential oral delivery vehicles for curcumin: effect of polysaccharide type and chemical cross-linking, *Food Hydrocolloids*, 72, 254–262.
- Chopde, S.; Datir, R.; Deshmukh, G.; Dhotre, A. & Patil, M. (2020). Nanoparticle formation by nanospray drying & its application in nanoencapsulation of food bioactive ingredients. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100085.
- Del Gaudio, P.; Sansone, F.; Mencherini, T.; De Cicco, F.; Russo, P. & Aquino, R. P. (2017). Nanospray drying as a novel tool to improve technological properties of soy isoflavone extracts. *Planta Médica*, 83(5), 426-433.
- Díaz, D. I.; Lugo, E.; Pascual-Pineda, L. A. & Jiménez-Fernández, M. (2018). Encapsulation of carotenoid-rich paprika oleoresin through traditional and nano spray drying, *Ital. J. Food Sci.* 31,125-138.
- Gharsallaoui, A.; Roudaut, G.; Chambin, O.; Voilley, A. & Saurel, R. (2007). Applications of spray-dr-

ying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121.

- Hosseini, H. & Mahdi Jafari, S. (2020). Introducing nano/microencapsulated bioactive ingredients for extending the shelf-life of food products. *Advances in Colloid and Interface Science*, 282, 102210.
- Huang, Q.; Yu, H. & Ru, Q. (2010). Bioavailability and delivery of nutraceuticals using nanotechnology. *Journal Food Science*, 75(1), 50 – 57.
- Muhamad, I.; Mohd Jusoh, Y.; Nawi, N.; Aziz, A. A.; Padzil, A. & Lian, H. (2018). Chapter 15 - Advanced Natural Food Colorant Encapsulation Methods: Anthocyanin Plant Pigment. Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes. *Handbook of Food Bioengineering*, 495-526.
- Jafari, S. M.; Arpagaus, C.; Cerqueira, M. A. & Samborska, K. (2021). Nano spray drying of food ingredients; materials, processing and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 632-646.
- Jain, I. (2014). Crosslinking albumin for drug release from spray dried particles [Master thesis, electronic thesis and dissertations, paper 674]. USA: University of Louisville.
- Kyriakoudi, A. & Tsimidou, M. Z. (2018). Properties of encapsulated saffron extracts in maltodextrin using the Büchi B-90 nano spray-dryer. *Food Chemistry*, 266, 458-465.
- Li, X.; Anton, N.; Arpagaus, C.; Belleteix, F. & Vandamme, T. F. (2010). Nanoparticles by spray drying using innovative new technology: The Büchi Nano Spray Dryer B-90. *Journal of Controlled Release*, 147, 304-310.
- Malapert, A.; Reboul, E.; Tourbin, M.; Dangles, O.; Thiéry, A.; Ziarelli, F. & Tomao, V. (2019). Characterization of hydroxytyrosol- $\beta$ -cyclodextrin complexes in solution and in the solid state, a potential bioactive ingredient. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, 102, 317–323.
- O’Toole, M. G.; Henderson, R. M.; Soucy, P. A.; Fasciotto, B. H.; Hoblitzell, P. J.; Keynton, R. S. *et al.* (2012). Curcumin encapsulation in submicrometer spray-dried chitosan/Tween 20 particles. *Biomacromolecules*, 13, 2309-2314.
- Rashidinejad, A. & Jafari, S. M. (2020). Chapter 8: Nanoencapsulation of bioactive food ingredients. *Handbook of Food Nanotechnology*, 279-344.
- Siró, E.; Kápolna, E.; Kápolna, B. & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance-A review. *Appetite*, 51, 456–467.