

EFECTO DE LA TEMPERATURA Y FLUJO DE AIRE EN LA NANOENCAPSULACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EXTRAÍDOS DE PAPA NATIVA EN MATRICES DE MALTODEXTRINA Y GOMA ARÁBIGA

Data de submissão: 09/06/2023

Data de aceite: 01/08/2023

Rodrigo Jaime Guzmán Gutiérrez

Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0009-0008-3917-7707>

Carlos A. Ligarda-Samanez

Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0001-7519-8355>

Henry Palomino-Rincón

Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0002-4174-9961>

Elibet Moscoso-Moscoso

Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0002-0546-4504>

David Choque-Quispe

Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0003-4002-7526>

Betsy S. Ramos-Pacheco

Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0002-0286-0632>

RESUMEN: Las papas nativas contienen compuestos bioactivos beneficiosos para la salud humana; el objetivo del estudio fue evaluar la temperatura de entrada (96 - 116 °C) y el flujo de aire (120 - 150 L/min) en la nanoencapsulación de extractos fenólicos de papa nativa en el equipo Nano Spray Dryer B-90, mediante un diseño factorial 2². Se obtuvieron los compuestos fenólicos del clon de papa, para luego ser encapsulados con 30 % de maltodextrina y goma arábica (90:10). Se cuantificaron como variables dependientes el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides, capacidad antioxidante, tamaño de partícula e higroscopicidad, siendo el tratamiento de 116 °C y 150 L/min (T4) el mejor en contenido de compuestos fenólicos (4.56 mg AGE/g), contenido de flavonoides (1.20 mg de quercetina/g), capacidad antioxidante (13.01 μmol TEAC/ g) e higroscopicidad (8.65%). El tratamiento T2 fue el de menor tamaño de partícula permitió obtener (800 nm). Finalmente, se concluye que a mayor temperatura de entrada y a menor flujo de aire se conservan mejor los compuestos bioactivos, por lo que los materiales obtenidos podrían utilizarse en alimentos funcionales y nutraceuticos en la industria alimentaria y farmacéutica.

PALABRAS CLAVE: Papas nativas, compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, nanoencapsulación.

ABSTRACT: Native potatoes contain bioactive compounds beneficial to human health; the objective of the study was to evaluate the inlet temperature (96 - 116 °C) and airflow (120 - 150 L/min) in the nanoencapsulation of native potato phenolic extracts in the Nano Spray Dryer B-90 equipment, using a 2² factorial design. The phenolic compounds were obtained from the potato clone and then encapsulated with 30 % maltodextrin and gum arabic (90:10). Phenolic compound content, flavonoids, antioxidant capacity, particle size, and hygroscopicity were quantified as dependent variables, with the 116 °C and 150 L/min treatment (T4) being the best in phenolic compound content (4.56 mg AGE/g), flavonoid content (1.20 mg quercetin/g), antioxidant capacity (13.01 μmol TEAC/ g) and hygroscopicity (8.65%). The T2 treatment was the one that allowed obtaining the smallest particle size (800 nm). Finally, it is concluded that the higher the inlet temperature and the lower the airflow, the better the preservation of bioactive compounds so that the materials obtained could be used in functional foods and nutraceuticals in the food and pharmaceutical industry.

KEYWORDS: Native potatoes, bioactive compounds, antioxidant capacity, nanoencapsulation.

1 | INTRODUCCIÓN

La adopción de inadecuados hábitos alimenticios son la consecuencia de las malas prácticas de alimentación constituida por dietas con bajo contenido de nutrientes, alto consumo de productos procesados y las famosas comidas chatarras (Arias et al., 2018). Estas preferencias crecen debido a los hábitos poco saludables que se adoptó en la alimentación incluyendo el sedentarismo y el estrés esto conlleva al incremento de enfermedades como la diabetes, obesidad, hipertensión y cáncer (Sarmiento, 2006).

Esto ha generado una búsqueda en la relación entre alimentación y salud, con objetivos sanitarios que dirige a los alimentos funcionales a diferentes enfermedades de valor social considerable y económico, de esta forma se busca solucionar los problemas de desnutrición (Cortés et al., 2016). Cuando se habla de un alimento funcional este aporta beneficios adicionales para la salud además de la nutrición básica y el bienestar de la población; el alimento nos permite potenciar capacidades físicas y mentales, así como también un óptimo crecimiento y desarrollo desde la gestación (Sarmiento, 2006). Joshi et al., (2018) menciona que “dentro de los alimentos funcionales se encuentran los antioxidantes que se componen principalmente de los compuestos fenólicos, polifenólicos, antocianinas, carotenoides, fitatos, ciertas vitaminas, ácidos úricos y minerales”. Pero una de las dificultades en el mercado de alimentos es la aceptabilidad sensorial que no es necesario para productos como los nutraceuticos o farmacéuticos.

El Perú contiene una diversidad de productos ricos en vitaminas y compuestos bioactivos que conforman a los alimentos funcionales; esta biodiversidad brinda alimentos

ricos en componentes nutricionales, bioactivos y propiedades importantes para su procesamiento y al consumirlo tienen efectos beneficiosos para la salud (Sequeiros, 2022). Uno de los productos poco investigados en estos componentes son las papas nativas, al respecto Benavides et al., (2020) menciona que “En las papas nativas la coloración de la pulpa y de la cascara a púrpura lo relaciona con altos contenidos de antocianinas y flavonoides”; los mismos que son considerados compuestos bioactivos importantes para alimentos funcionales y su conservación es aún un problema, para ello existen diferentes técnicas, como la encapsulación de estos compuestos.

La nanotecnología permite dar una solución a la debilidad de los productores de alimentos funcionales, porque la aplicación de esta tecnología mejora la biodisponibilidad, el sabor, la textura y la consistencia de los alimentos (Shivraj et al., 2020). Además, consiste en la generación y utilización de materiales, mecanismos o sistemas a escala manométrica (Pateiro et al., 2021). Permitiendo así la nanoencapsulación de compuestos bioactivos que se utiliza ampliamente con el fin de proteger los ingredientes alimenticios contra el deterioro y las pérdidas volátiles (Fang y Bhandari, 2011). El proceso de encapsulación mencionado por Pateiro et al., (2021) se basa en encerrar un compuesto bioactivo en estado líquido, sólido o gaseoso dentro de una matriz o material inerte, generalmente un polímero.

Una pared cerrada puede preservar la sustancia recubierta, aumentando su estabilidad en el entorno correspondiente (Pateiro et al., 2021). Para ello el secado por aspersión es el más utilizado y más eficaz para la encapsulación de compuestos bioactivos por su simplicidad, rapidez y el precio comercial (Díaz et al., 2022).

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar el efecto de la temperatura y flujo de aire en la nanoencapsulación de compuestos fenólicos extraídos de papa nativa en matrices de maltodextrina y goma arábiga. También se determinó el efecto de la temperatura y flujo de aire en el contenido de flavonoides, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, higroscopicidad y el tamaño de partícula en la nanoencapsulación de compuestos fenólicos extraídos de papa nativa en matrices de maltodextrina y goma arábiga.

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia prima

El clon de papa nativa (*Solanum tuberosum* spp *andígena*) con código: 511110.5 fue cosechado en el mes de octubre del 2022 en el distrito de San Jerónimo, provincia de Andahuaylas, Región Apurímac en el Perú con coordenadas geográficas 13°38'52" S, 73°18'25" O ubicada entre 3500 a 3525 msnm. Los clones de papa nativa fueron gentilmente proporcionados por la empresa “SEMPAL S.R.L.”. Los rendimientos de cultivo fueron en

promedio 20 t/ha, se utilizaron papas seleccionadas en función del peso y tamaño, las que fueron de tercera categoría (tubérculos entre 31-60 g y 71-90 mm) y cuarta categoría (tubérculos menores de 30 g y menores de 70 mm).

2.2 Extracción de compuestos fenólicos

Se trituró el clon de papa nativa con código: 511110.5 en un mortero de ágata, luego se llevó a un vaso precipitado con 300 ml de etanol al 80%, manteniéndose en agitación a 1400 rpm por 2 horas, para luego ser sonicado durante 20 minutos con intervalos de 1 minuto. El extracto obtenido se filtró al vacío, para luego eliminar el exceso del solvente en una estufa al vacío a 10 mbar y a una temperatura de 30°C. Por último, los extractos se pulverizaron en un secador por aspersión B-290, a una temperatura de entrada de 120°C. Los polvos obtenidos se almacenaron en un desecador hasta su uso.

2.3 Nanoencapsulación de compuestos fenólicos

La Figura 1 muestra el diagrama de proceso que se diseñó en la plataforma de BioRender (versión de prueba).

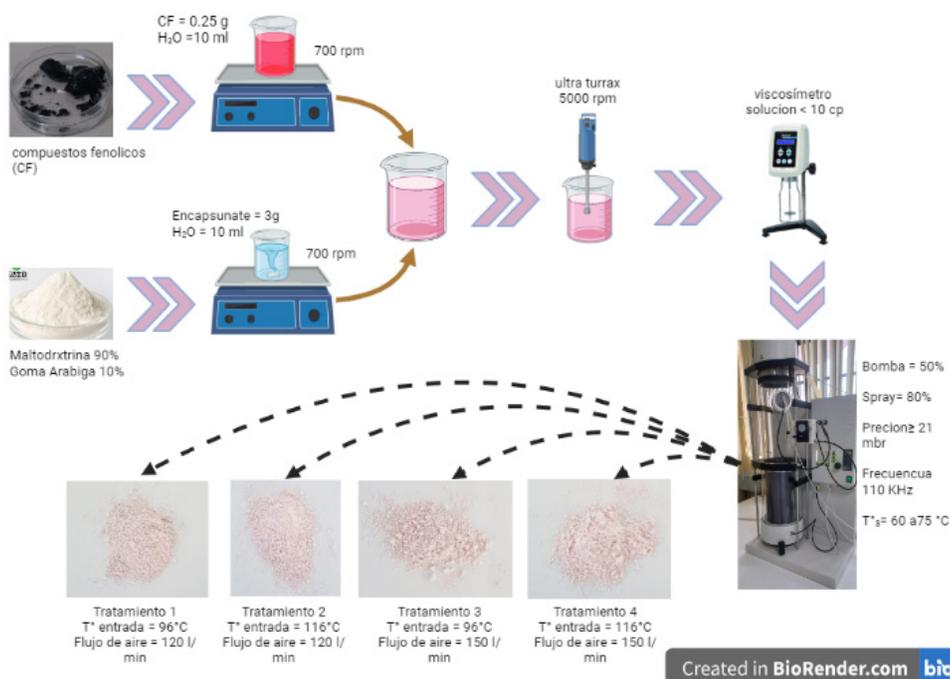


Figura 1. Diagrama del proceso de nanoencapsulación de compuestos fenólicos extraídos de papa nativa.

Se preparó el encapsulante (maltodextrina y goma arábica) al 30% (p/v) manteniéndose en agitación a 700 rpm por 24h; los compuestos fenólicos de papa nativa se prepararon al 2.5% (p/v), luego se homogenizaron en un ultra turrax a 5000 rpm por 5

minutos; se controló la viscosidad hasta un máximo de, 10 Cp. La encapsulación se realizó en un Nano Spray Dryer B-90 Buchi a temperaturas de entrada de 96 °C y 116 °C y a un flujo de aire de 120 L/min y 150 L/min.

2.4 Preparación de extracto metanólico

Se pesó 0.2 gramos de las muestras de nanoencapsulados y se diluyó en 10 ml de metanol al 80%, manteniéndose en agitación a 400 rpm por 15 minutos. En todo momento protegidos de la luz, se almacenaron por 24 horas en oscuridad y a temperatura ambiente. Transcurrido las 24 h, se procedió a centrifugar el homogenizado a 5000 rpm por 10 minutos.

2.5 Cuantificación de fenoles totales

A 900 µL del extracto metanólico, se le añadió 2400 µL de agua ultra pura, 150 µL de Na₂CO₂ al 20% y 300 µL del reactivo Folin Ciocalteu al 0.25 N, se preparó un blanco empleando agua ultra pura en lugar del extracto metanólico de la muestra; dejándose reaccionar por 10 minutos y a temperatura ambiente. Para la curva de calibración se usó ácido gálico. Las lecturas de la absorbancia se realizaron a 755 nm en un espectrofotómetro (GENESYS 150 UV Visible Spectrophotometer).

2.6 Cuantificación de flavonoides totales

Se dejó reaccionar durante 10 minutos, 90 µL del extracto metanólico, 1910 µL de metanol al 80%, 100 µL de AlCl₃ al 5% y 2900 µL de metanol al 80%. Se utilizó quercetina para la curva de calibración. Las lecturas se realizaron a una longitud de onda de 425nm en un espectrofotómetro (GENESYS 150 UV Visible Spectrophotometer).

2.7 Determinación de capacidad antioxidante

Se preparó la solución madre de DPPH disolviendo 24 mg de DPPH en 100ml de metanol. Esta solución se almacenó en un frasco ámbar a 20 °C por un tiempo de 24 horas.

Se dejó temperar la solución madre hasta temperatura ambiente y se preparó la solución diluida de DPPH con una absorbancia de 1.1 ± 0.02 a una longitud de onda 515 nm. Con una micro pipeta se tomó 150 µL de extracto de la muestra y se le adiciono 2850 µL de la solución madre de DPPH diluida en un tubo de ensayo protegido de la luz en este caso el blanco se utilizó metanol al 80% y se dejó reaccionar durante 15 minutos. Se utilizó trolox para la curva de calibración. Las lecturas de absorbancia se realizaron a una longitud de onda de 515 nm en un espectrofotómetro (GENESYS 150 UV Visible Spectrophotometer).

2.8 Tamaño de partícula e higroscopicidad

Para el tamaño de partícula se utilizó el equipo Mastersizer 3000. Se tomó aproximadamente 8 mg de muestra y se dispararon en 50 ml de alcohol isopropílico de 99°,

para luego sonicarlos por 30 segundos. Las lecturas se realizaron en un vaso precipitado de 250 ml, de acuerdo a la potencia y la obscuración requerida por el equipo.

Para la higroscopicidad se acondicionaron recipientes herméticos con pequeños trípodes en el interior placas con 0.1 g de muestra. Se colocó dentro de los recipientes herméticos una solución saturada de NaCl al 75% de humedad relativa. Se dejó por 7 días a temperatura ambiente, se registraron los pesos finales de las muestras y el cálculo de la higroscopicidad se realizó de acuerdo a la siguiente relación:

$$I = \left(\frac{m_3 - m_2}{m_2 - m_1} \right) \cdot 100$$

Dónde: I es porcentaje de higroscopicidad (%), m1 es el peso de la placa Petri vacía, m2 es el peso de la placa Petri + muestra y m3 es el peso de la placa Petri + muestra después de siete días.

2.9 Análisis estadístico

El diseño estadístico corresponde a una factorial (2²), para evaluar el efecto de la temperatura y flujo de aire en la nanoencapsulación se utilizó un gráfico de efectos, con un nivel de significancia del 5%, el análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI.

3 | RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Determinación de fenoles totales y flavonoides

Los resultados de compuestos fenólicos presentaron diferentes valores debido al efecto ocasionado por la temperatura de entrada y el flujo de aire en los microencapsulados. Los tratamientos T4 y T2 reportaron resultados considerables de compuestos fenólicos, con valores de entre 4.56 y 4.54 AGE/g muestra, respectivamente. Con referencia a los flavonoides se obtuvieron valores entre 1.20 y 1.18 mg de quercetina/g muestra para T4 y T2, los cuales se muestran en la Tabla 1. Los microencapsulados de extractos fenólicos podrían ser utilizados en diversos alimentos, al respecto Piñón et al., (2020) señala que “Los compuestos fenólicos son importantes porque además de las propiedades antioxidantes, contribuyen al color, sabor, y textura del producto”.

Muestra	Contenido de fenoles totales (mg AGE/g muestra)			Contenido de flavonoides totales (mg quercetina/g muestra)		
	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s
Clon 511110.5	6.72	\pm	0.04	3.00	\pm	0.18
C1-A (atomizado puro)	6.08	\pm	0.11	2.58	\pm	0.04
T1 (96°C y 120 L/min)	4.35	\pm	0.03	0.94	\pm	0.03
T2 (116°C y 120 L/min)	4.54	\pm	0.05	1.18	\pm	0.10
T3 (96°C y 150 L/min)	4.36	\pm	0.14	0.93	\pm	0.05
T4 (116°C y 150 L/min)	4.56	\pm	0.08	1.20	\pm	0.08

Tabla 1. Contenido de compuestos fenólicos y flavonoides.

Como se puede observar en la Tabla 1 la conservación de los compuestos fenólicos y flavonoides del clon de papa nativa es buena usando como material de pared maltodextrina y goma arábica, por el contrario Piñón et al., (2020) reportó una baja retención de compuestos fenólicos y contenido de flavonoides del café molido usando al proceso de secado por aspersión y empleando maltodextrina y goma arábica como materiales de pared. Por otra parte Yinbin et al., (2018) estudio diferentes combinaciones de encapsulantes para extractos de ciruela, obteniendo valores de 69.63 GAE/g del contenido total de fenoles empleando maltodextrina y goma arábica como material de pared, siendo superior a los nanoencapsulados del clon 511110.5.

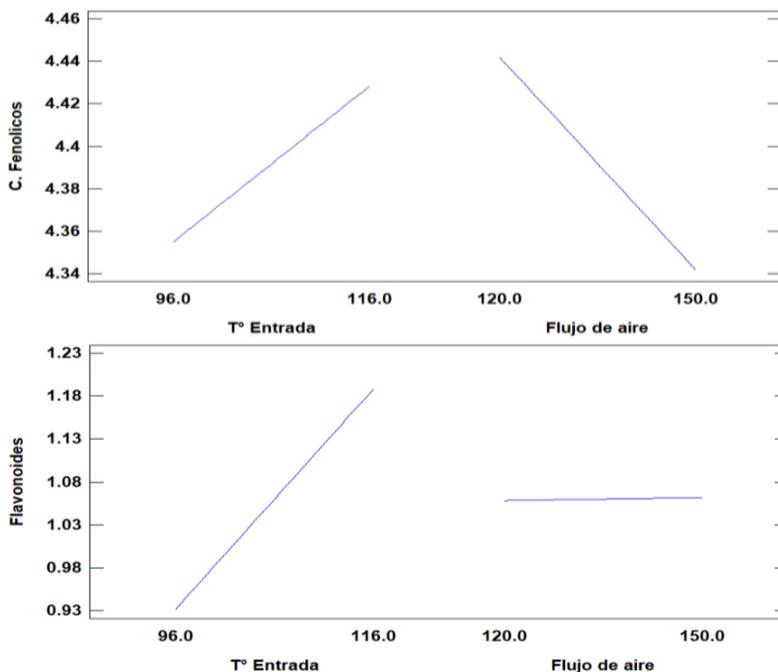


Figura 2. Efecto en los compuestos fenólicos y flavonoides.

En la Figura 2 se observa el efecto de la temperatura en relación a los compuestos fenólicos que indica que a mayor temperatura de entrada mayor es el contenido de compuestos fenólicos. En el caso del flujo de aire el panorama es diferente ya que a menor flujo es mejor el proceso de encapsulación de los compuestos fenólicos. En el caso de los flavonoides se observa que a mayor temperatura de entrada es mayor el contenido, con referencia al flujo de aire no se observaron efectos. Mahdi, (2017) menciona que en un Nano Spray Dryer B-90 la temperatura de salida se encuentra entre 28 y 62°C por lo tanto es mejor en comparación a la tecnología tradicional y/o convencional de secado, esto hace que el secado por nano aspersión sea un proceso muy apropiado para materiales biológicos sensibles al calor, logrando se conservar los compuestos bioactivos.

3.2 Determinación de capacidad antioxidante

Con referencia a la capacidad antioxidante el tratamiento T4 y T2, reportaron valores altos de 8.58 y 13.01 $\mu\text{mol TEAC/g}$ muestra, lo cual se puede apreciar en la Tabla 2. Por otro lado, Moscoso (2014) reportó en puré deshidratado de clones de papa el resultado de 4.45 $\mu\text{mol TEAC/g}$, valor que es inferior al obtenido por el método de secado por aspersión, debido básicamente a la diferencia de tecnología empleada.

Muestra	Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol TEAC/g}$ muestra)		
	\bar{x}	\pm	s
Clon 511110.5	131.57	\pm	0.60
C1_A	129.94	\pm	1.18
T1	1.11	\pm	0.26
T2	8.58	\pm	0.95
T3	4.64	\pm	1.11
T4	13.01	\pm	0.83

Tabla 2. Capacidad antioxidante de los encapsulados

Mediante los efectos se deducen que la temperatura de entrada tiene efecto en la capacidad antioxidante (Figura 3), es decir a mayor temperatura de entrada, mayor es la capacidad antioxidante, en el caso del flujo de aire no se observó efecto significativo.

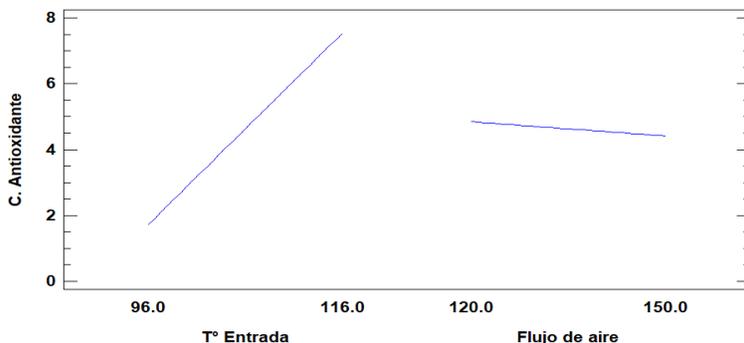


Figura 3 efectos en la capacidad antioxidante.

La importancia de conocer la capacidad antioxidante permite tener diferentes alternativas de uso, debido a su capacidad de reaccionar con radicales libres, por lo que los compuestos bioactivos son ampliamente usados para tratar diferentes enfermedades degenerativas (Ligarda et al., 2016).

3.3 Determinación del tamaño de partícula e higroscopicidad

Los datos reportados en el tamaño de partícula muestran que el tratamiento T2 y T1 se encuentran entre 800 y 830 nm como se muestra en la Tabla 3; estas partículas se midieron en un medio de alcohol isopropílico en el que las partículas no son solubles y se muestra el tamaño real. Al respecto Ligarda et al., (2022) reportaron valores de 817.1 y 903.7 nm. Por otro lado, Choque et al., (2022) determinó el tamaño de partícula de muestras de nostoc atomizado en medio acuoso, obteniendo valores entre 11.1 nm y 648.7 nm, siendo estos inferiores al obtenido en el proceso de nanoencapsulación, básicamente debido a que las lecturas del nostoc se realizaron en un medio acuoso.

Muestra	Tamaño de partícula (nm)			Higroscopicidad (%)		
	\bar{x}	\pm	s	\bar{x}	\pm	s
T1	830	\pm	0.001	10.86	\pm	0.39
T2	800	\pm	0.001	8.65	\pm	0.65
T3	870	\pm	0.003	10.14	\pm	1.05
T4	900	\pm	0.005	8.09	\pm	0.29

Tabla 3. tamaño de partícula e higroscopicidad de los encapsulados.

La encapsulación puede promover una mayor estabilidad de los componentes bioactivos en los alimentos, con una mejor regulación de su liberación en el lugar fisiológico activo, además uno de los principales beneficios de aplicar la nanoencapsulación es la homogeneidad que imparte, lo que resulta en una mejor eficiencia de encapsulación y propiedades físicas y químicas adecuadas (Pateiro et al., 2021).

Se observó que la higroscopicidad de todos los polvos atomizados se incrementó con la humedad (Cai y Corke, 2000) and affected slightly the pigment stability during storage. Adding maltodextrins and starches significantly reduced the hygroscopicity of the betacyanin extracts and enhanced storage stability. The 25 DE/10 DE mixed powders provided a longer predicted half-life (63.6 wk. Este mismo autor reporta datos de higroscopicidad entre 8.65 y 10.86 %; por su parte Ligarda et al., (2022), reportó valores entre 22.05 y 32.94%, valores que están ligeramente por encima del valor crítico del 20%, que es el valor deseado durante el almacenamiento y manejo de productos deshidratados. En este caso todos los tratamientos de este estudio cuentan con buenos valores de higroscopicidad, para su almacenamiento.

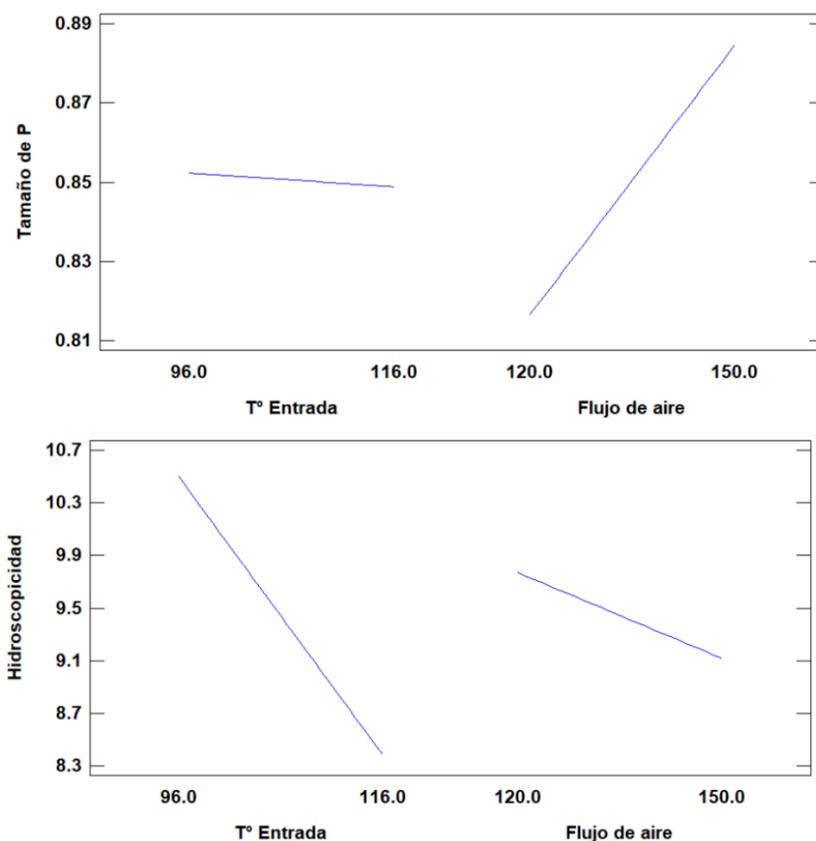


Figura 4 efectos en el tamaño de partícula e higroscopicidad.

Como se muestra en la Figura 4 el tamaño de partícula es mejor a menor flujo de aire ya que llega a escalas más pequeñas, sin embargo, la temperatura de entrada no tiene efecto significativo, para un nivel de confianza del 95%. La higroscopicidad mejora a mayor temperatura de entrada, obteniéndose porcentajes menores, lo que favorece la conservación de los nanoencapsulados.

4 | CONCLUSIONES

En este estudio se evaluó el efecto de la temperatura de entrada y del flujo de aire, observándose que, a mayor temperatura de entrada, los compuestos bioactivos se conservan por la formación casi inmediata de una costra de protección durante el secado por aspersión. En el caso del flujo de aire no se observó influencia significativa sobre el contenido de los compuestos bioactivos. Finalmente, se recomienda realizar estudios de la liberación in vitro del nanoencapsulado en productos alimentarios.

5 | AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional José María Arguedas y a la Vicepresidencia de Investigación, en especial al Laboratorio de Investigación en Nanotecnología de Alimentos (LINA).

REFERENCIAS

Arias, D., Montañó, L., Velasco, M., & Martínez, J. (2018). Alimentos funcionales: avances de aplicación en agroindustria TT - Functional foods: advances of application in agroindustry. *Tecnura*, 22(57), 55–68. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2018000300055&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v22n57/0123-921X-tecn-22-57-55.pdf

Benavides, R., Revelo, Y. A., Arago, O., & Osorio, O. (2020). Extracción asistida con ultrasonido de compuestos fenólicos de dos variedades de papas (*Solanum phureja*) nativas andinas y evaluación de su actividad antioxidante Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from two varieties of an Andean nativ. *Información Tecnológica*, 31(5), 43–50.

Cai, Y. Z., & Corke, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried. *Journal of Food Science*, 65(6), 1248–1252.

Choque, D., Mojo, A., Ligarda, C. A., Calla, M., Ramos, B. S., Zamalloa, L. M., Peralta, D. E., Solano, A. M., Choque, Y., Zamalloa, A., Palomino, Y. G., Medina, L. D., & Kari, A. (2022). Preliminary Characterization of a Spray-Dried Hydrocolloid from a High Andean Algae (*Nostoc sphaericum*). *Agroindustrial Engineering, Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas 03701, Peru*, 11(11), 1–15. <https://doi.org/10.3390/foods11111640>

Cortés, A. D. J., León, J. R., Jiménez, F. J., Díaz, M., & Villanueva, A. (2016). Alimentos funcionales, alfalfa y fitoestrógenos. *Revista Mutis*, 6(1), 28. <https://doi.org/10.21789/22561498.1110>

Díaz, E., Martínez, J. A., Cerón, G. I., & Vargas, E. A. (2022). Transferencia de calor en el contenedor de alimentación de un secador por aspersión. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(19), 84–93. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.8896>

Fang, Z., & Bhandari, B. (2011). Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry*, 129(3), 1139–1147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.093>

Joshi, D., Roy, S., & Banerjee, S. (2018). Prebiotics: A Functional Food in Health and Disease. In *Natural Products and Drug Discovery: an Integrated Approach*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102081-4.00019-8>

Ligarda, C. A., Moscoso, E., Choque, D., Palomino, H., Marttines, E. L., Huaman, M., Peralta, D. E., Aroni, J., Arevalo, J., Palomino, W., De la Cruz, G., Ramos, B., Muñoz, J., & Muñoz, M. (2022). Microencapsulation of Erythrocytes Extracted from Potato Starch. *Food Nanotechnology Research Laboratory, Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas 03701, Peru*;

Ligarda, S. C. A., Choque, Q. D., Palomino, R. H., Ramos, P. B. S., & Moscoso, M. E. M. (2016). Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en frutos silvestres altoandinos. <https://doi.org/https://doi.org/10.22533/at.ed.0752113082>

Mahdi, S. (2017). Nanoencapsulation of food bioactive ingredients (Mariana Ku). <https://doi.org/https://www.elsevier.com/books-and-journals>

Moscoso, E. (2014). determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de cinco clones de papa nativa (*solanum tuberosum*) y del puré deshidratado. Universidad Nacional José María Arguedas. escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial.

Pateiro, M., Gómez, B., Munekata, P. E. S., Barba, F. J., Putnik, P., Kovačević, D. B., & Lorenzo, J. M. (2021). Nanoencapsulation of promising bioactive compounds to improve their absorption, stability, functionality and the appearance of the final food products. *Molecules*, 26(6). <https://doi.org/10.3390/molecules26061547>

Piñón, B. C. I., Leyva, P. C., Terán, F. Y., Espinosa, S. V., Álvarez, S. C., & Saavedra, L. M. Z. (2020). Encapsulation of active ingredients in food industry by spray-drying and nano spray-drying technologies. *Processes*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/PR8080889>

Sarmiento, R. (2006). Alimentos funcionales, una nueva alternativa de alimentación Functional foods, a new feeding alternative. *Revista Orinoquia - Universidad de Los Llanos.*, 10, 16–23. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89610103%5CnCómo>

Sequeiros, F. (2022). Potencial de nutrientes, bioactividad y funcionalidad de Quinoa (*Chenopodium quinoa W.*), Maíz (*Zea mays*) y Tarwi (*Lupinus mutabilis S.*) de la región Apurímac. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 8.5.2017, 2003–2005.

Shivraj, N., Baskar, V., Selvaraj, D., Nile, A., Xiao, J., & Kai, G. (2020). Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspectives. In *Nano-Micro Letters* (Vol. 12, Issue 1). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/s40820-020-0383-9>

Yinbin, L., Wu, L., Weng, M., Tang, B., Lai, P., & Chen, J. (2018). Effect of different encapsulating agent combinations on physicochemical properties and stability of microcapsules loaded with phenolics of plum (*Prunus salicina lindl.*). *Powder Technology*, 340, 459–464. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.049>