

## Evaluación de nano secado por aspersión a alta concentración de alimentación Evaluation of nano spray drying at high feed concentration

S. Chong-Canto <sup>a</sup>, Y. A. Cruz Gorostieta <sup>a</sup>, M. S. Ruiz-Palma <sup>a</sup>  
G. I. Cerón-Montes <sup>a</sup>, M. González-González <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica de Tecámac, Ecatepec de Morelos, Edo. de México, México.

### Resumen

El secado por aspersión es una técnica utilizada en el área químico-biológica para encapsular sustancias disueltas con un material protector, mediante la aspersión por aire caliente para reducir contenido de humedad (%  $H$ ) y actividad de agua ( $A_w$ ). Por lo cual el nano secado por aspersión (NSA) emplea a una baja condición de productividad y alimentaciones  $\leq 1\%$  en contenido de sólidos a fin de obtener tamaños submicrométricos del polvo. En el presente trabajo, haciendo uso del equipo Buchi B-90, se evaluó una alimentación al 25% p/v de maltodextrina (MD) de diez equivalentes de dextrosa (DE10) a 120 °C de temperatura de proceso ( $T_E$ ), presentando la capacidad de procesar la muestra; donde el registro de las condiciones de operación reveló que la velocidad de aspersión ( $Q$ ) no es afectada por la temperatura del cabezal ( $T_c$ ), mientras que el análisis del polvo mostró un tamaño de partícula de 15.11  $\mu\text{m}$ , morfología arrugada, %  $H$  de 5.49%,  $A_w$  de 0.212 y rendimiento de 88.13%.

**Palabras Clave:** Nano secado por aspersión, secado por pulverización, maltodextrina

### Abstract

Spray drying is a technique used in the chemical-biological area to encapsulate dissolved substances with a protective material, by hot air spraying to reduce moisture content (%  $H$ ) and water activity ( $A_w$ ), for which nano spray drying (NSA) employs a low productivity condition and feeds  $\leq 1\%$  solids content in order to obtain submicron powder sizes. In the present work, using the Buchi B-90 equipment, a 25% w/v maltodextrin (MD) feed of ten dextrose equivalents (DE10) was evaluated at a process temperature of 120 °C ( $T_E$ ), presenting the ability to process the sample; where the recording of the operating conditions revealed that the spray speed ( $Q$ ) is not affected by the head temperature ( $T_c$ ), while the dust analysis showed a particle size of 15.11  $\mu\text{m}$ , wrinkled morphology, %  $H$  of 5.49%,  $A_w$  of 0.212 and yield of 88.13%.

**Keywords:** Nano spray drying, spray drying, maltodextrin

### 1. Introducción

El secado por aspersión ha tomado relevancia en los últimos años por la exploración de equipos para la síntesis o la encapsulación a una escala nanométrica; esto debido al interés de la industria alimentaria y farmacéutica por la incorporación de compuestos bioactivos y la mejora de la biodisponibilidad de los mismos, así como la manipulación de materiales termosensibles (Li et al., 2010; Jati et al., 2022). Por lo cual es una de las técnicas mecánicas más utilizadas para obtener un polvo; en esta operación los sólidos de una solución son asperjados en microgotas que son secadas por una corriente de aire caliente para obtener un polvo de bajo contenido de humedad y actividad de agua logrando materiales bastante estables (Díaz-Montes, et al., 2021). Las temperaturas de

proceso ( $T_E$ ) que se pueden alcanzar en un equipo de secado por aspersión convencional varían entre 200 y 300 °C. Dicha temperatura puede afectar la estabilidad de materiales termosensibles (Laokuldilok & Kanha, 2015; Hoskin, et al., 2019), por ello que sea necesario explorar otras opciones de secado. Un método de secado por aspersión emergente es el nano secado por aspersión (NSA), donde es fundamental la atomización y es la principal transformación que sufre el material de alimentación para generar la distribución de las gotas que impactaran en el tamaño de las partículas y en las características físicas del producto final; como lo son, la generación de micropartículas con morfología esférica o hueca, (Arpagaus, 2012). En el NSA se emplea un nano pulverizado por vibración piezoeléctrica que difiere del aspersor centrífugo rotatorio de un equipo de secado

\*Autor para la correspondencia: [monserratglezg19@gmail.com](mailto:monserratglezg19@gmail.com)

Correo electrónico: [anotherayuri2341@gmail.com](mailto:anotherayuri2341@gmail.com) (S. Chong-Canto), [goros.bio@gmail.com](mailto:goros.bio@gmail.com) (Y. A. Cruz Gorostieta), [mruizp@uttecamac.edu.mx](mailto:mruizp@uttecamac.edu.mx) (M. S. Ruiz-Palma), [gceronm@uttecamac.edu.mx](mailto:gceronm@uttecamac.edu.mx) (G. I. Cerón-Montes), [monserratglezg19@gmail.com](mailto:monserratglezg19@gmail.com) (M. González-González).

Historial del manuscrito: recibido el 23/09/2022, última versión-revisada recibida el 26/11/2022, aceptado el 28/11/2022, publicado el 12/12/2022. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial7.9836>



convencional. Como resultado, el nano secado genera gotas más pequeñas y se emplean temperaturas más bajas que están entre 60 y 120 °C. En este equipo para obtener tamaños nanométricos se emplea una concentración de solución diluida entre 0.1 - 1% de sólidos (Padmalshwarya & Anandharamkrishnan, 2021). Resultado de las diferentes tecnologías de aspersión empleadas y la preparación de la alimentación se obtienen tres tipos de partículas posibles: las cápsulas (>5 μm), las microcápsulas (1 μm–5 μm) y las nano cápsulas (<1 μm), (Abdullah et al., 2004; Chopde et al., 2020). El NSA puede ser utilizado para otras aplicaciones desde el área alimentaria para la encapsulación de lípidos, sabores y carotenoides o en el ámbito farmacéutico para la administración de fármacos que requieren de mayor cantidad de polvo, pero con limitaciones en la cantidad disponible de sustancias de interés o principios activos; y que no necesariamente requieran tamaños de partícula submicrométricos, que están sujetos a los mecanismos de liberación, aplicación para el material y el costo. Por ello que en el presente trabajo se evaluó la capacidad del equipo Buchi-B90 para operar bajo condiciones diferentes a las normalmente utilizadas en este equipo, donde se hará uso de una alta concentración en la alimentación, que está en el rango del secado por aspersión (15 a 30% p/v d sólidos), pero es superior al NSA (0.1 a 1% p/v), para conocer la eficiencia del proceso determinando propiedades del polvo seco, así como el rendimiento.

## 2. Procedimiento

### 2.1. Nano secado por aspersión NSA

Para formular los polvos secos se empleó soluciones de alimentación al 25% de Maltodextrina DE10. Esta concentración se suministró al equipo de secado Nano Spray Dryer B-90 sin unidad de enfriamiento; la unidad estuvo acoplada a un deshumidificador para disminuir el contenido de humedad del aire. Se empleó como temperatura de proceso 120 °C, flujo de aire de 100L/min., con una presión de 50 mbar y una caperuza de aspersión de 7 micrómetros de tamaño de poro (Figura 1). Durante el proceso se registró, respecto del tiempo, la temperatura del cabezal, la presión de la cámara de secado, el flujo volumétrico del aire y la temperatura de salida del aire.

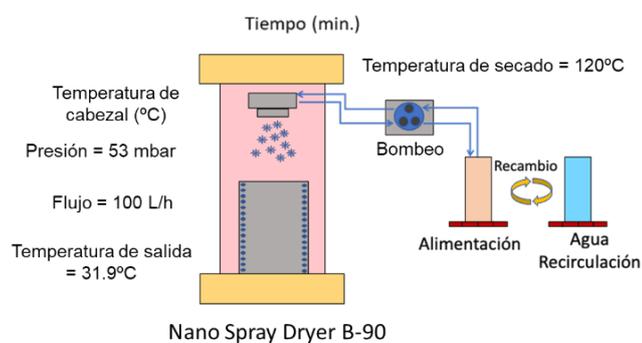


Figura 1 Condiciones de operación del equipo Buchi-B90, en el diagrama se puede observar la alimentación de la solución p/v de DE10; el caudal de temperatura empujado en el proceso, mismo que es el máximo para este equipo; la presión se mantuvo constante a 53 mbar.

### 2.2. Análisis de microscopia electrónica de barrido

Las muestras fueron analizadas por microscopia electrónica de barrido mediante un microscopio electrónico Marca JEOL, modelo JCM-6000. Se configuró en alto vacío, con un potencial de 15 KV, intensidad de corriente estándar en sonda de prueba y para la obtención de imagen se empleó la configuración de electrones secundarios.

### 2.3. Velocidad de aspersión de alimentación

Se empleó como contenedor de alimentación una probeta de 100 mL y se registró en función del tiempo, el volumen en la probeta. Se graficó el volumen contra el tiempo y del comportamiento trazado se calculó la ecuación de la recta por regresión lineal. La pendiente se reportó como velocidad de aspersión en mililitros por minuto (*ml/min*).

### 2.4. Determinación de contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad se empleó una balanza Santorius Mark 3. Se empleó 0.2 gramos de polvo y para las muestras líquidas 1000 microlitros.

### 2.5. Rendimiento del proceso de NSA

Para calcular el rendimiento el volumen asperjado ( $V_a$ ) fue multiplicado con la concentración de sólidos ( $C_s$ ) y registrado como masa procesada ( $M_p$ ), el polvo asperjado fue colectado mediante una espátula plástica y pesado, para ser registrado como masa recuperada ( $M_r$ ) junto con el valor del contenido de humedad ( $Ch$ ). Entonces se calculó el rendimiento como:  $\%R = (M_r/M_p) \times 100\%$ .

### 2.6. Distribución de tamaño de partícula

Se tomaron micrografías a 600 y 1000 aumentos; estas fueron impresas, y las partículas de cada imagen se midieron con micrómetro digital y se marcaron. La equivalencia del tamaño se calculó a través de medir con el micrómetro la barra de tamaño de cada imagen. Los tamaños fueron procesados empleando Octave y graficados los histogramas.

### 2.7. Actividad de agua

Se empleó un medidor de actividad de agua Rotronic Suiza HP23 – AW – ASET. Las muestras una vez procesadas por nano secado de aspersión fueron almacenadas en tubos plásticos Eppendorf roscados y sellados con papel Parafilm. Éstas se mantuvieron en almacenamiento a temperatura ambiente hasta su análisis.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Comportamiento de la temperatura del cabezal y velocidad de aspersión.

Para garantizar un producto con propiedades homogéneas entre lotes o ensayos es importante monitorear las condiciones de operación. Por ello, los parámetros de operación del Nano Spray Dryer B-90 establecen las condiciones para el proceso

de secado (ver Figura 1), de manera que resulte en la obtención de un polvo con determinadas características de %H,  $A_w$ , propiedades morfológicas, velocidad de procesamiento de alimentación y % de rendimiento.

Una de las variables de operación de mayor relevancia es la temperatura de secado ( $T_E$ ) y la temperatura del cabezal de aspersión ( $T_C$ ); esta última se establece en función del procesamiento. Por ejemplo, en los ensayos realizados la  $T_E$  fue de 120 °C mientras la  $T_C$  cambió en función del tiempo. Esto se debe a que en un principio el sistema se alimenta con agua (recirculación); por lo que para iniciar el procesamiento de un lote se reemplaza la alimentación por muestra a temperatura ambiente lo que lleva a que la  $T_C$  disminuya. En la Figura 2 se muestran los resultados para uno de los ensayos; en estos la temperatura inicial ( $T_i$ ) disminuyó hasta 62 °C y durante los primeros 15 minutos existió el mayor incremento de la temperatura alcanzando alrededor de 85 °C y hacia los 45 minutos de proceso esta alcanza 88 °C. En esta misma grafica se observa el comportamiento de la velocidad volumétrica ( $Q$ ) de aspersión: esta fue medida con la disminución del volumen de muestra en el contenedor de alimentación (probeta) que presentó 60 mL de volumen inicial ( $V_i$ ). Se observó un comportamiento lineal de la disminución del volumen que correlacionó con una  $r^2$  de 0,9935, la cual determinó un valor de procesamiento,  $Q$ , de 1,4255 mL/min.

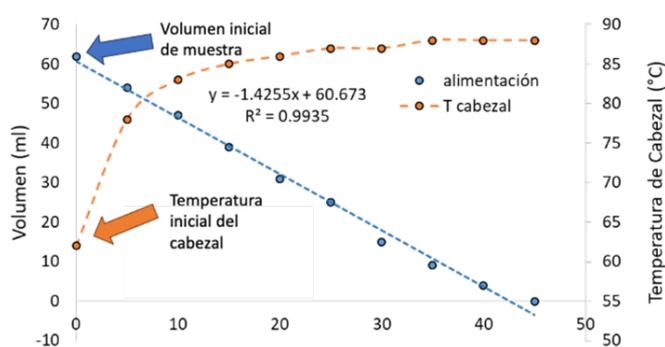


Figura 2 Velocidad y temperatura de aspersión de alimentación

El cabezal contiene la caperuza de aspersión, esta última es alimentada por voltaje para que ocurra el fenómeno piezoeléctrico de aspersión y como resultado se tenga una  $Q$  de procesamiento de la muestra (1,4255 ml/min). Un supuesto fue que a menor  $T_C$  existirá menor  $Q$  de procesamiento; sin embargo, se observó que la  $Q$  de procesamiento fue constante aun cuando cambio la  $T_C$ , indicando que esta no afecta su operación; resaltando que las condiciones de presión de la cámara de secado, flujo volumétrico de aire,  $T_E$  y  $T_S$  permanecieron alrededor del valor inicial.

### 3.2. Contenido de Humedad (%H)

El contenido de humedad (%H) del polvo procesado por nano secado de aspersión en el equipo B-90 fue  $5.49 \pm 0.164$  g  $H_2O/100g$  de producto. Este valor se encuentra dentro del rango reportado en la bibliografía para muestras de MD obtenidas por secado de aspersión convencional de las cuales se reportan valores de 1.90% a 5.9% (Rosa, et al., 2018; Zhu J., et al., 2022). Este rango es adecuados para mantener la

estabilidad del producto (Klinkesorn et al., 2006; Rosa, et al., 2018).

Tabla 1 Parámetros del producto procesado en Buchi B-90

Parámetro	Unidad	X	DE
Alimentación de solidos	g/100ml (% p/v)	22.22	$\pm 0.482$
$A_w$	$A_w$	0.212	$\pm 0.005$
%H	g/100g (% p/p)	5.49	$\pm 0.164$
Rendimiento	%	88.13	$\pm 3.149$

Hay que enfatizar que los resultados obtenidos fueron con una alimentación al 25% en MD y una  $T_E$  de 120 °C, en comparación con otros trabajos que han empleado el nano spray dryer B-90 una alimentación de 0.1% a 1% en sólidos, en tanto que el contenido de humedad es menor o igual al 1% (Anwar & Kunz, 2011; Klinkesorn, et al., 2021; PadmaIshwarya & Anandharamakrishnan, 2021). Mientras que con equipos de secado convencional se manejan temperaturas entre 160 y 200 °C, con porcentajes de alimentación de 10 a 30 % y valores de humedad en general mayores a 2% (Anwar & Kunz, 2011; Klinkesorn, et al., 2021; Zhu, et al., 2022). De esta manera, el contenido de humedad alcanzado en este trabajo se debió al alto porcentaje en solidos durante la alimentación y la baja temperatura empleada en comparación con otros trabajos de nano secado y secado convencional respectivamente. Esto concuerda con la bibliografía donde se indica que el contenido de humedad depende de los sólidos presentes en la alimentación y la temperatura de proceso (Schmid, et al., 2011; PadmaIshwarya & Anandharamakrishnan, 2021).

### 3.3. Actividad de agua ( $A_w$ )

La  $A_w$  está relacionada con el %H en el polvo, un valor alto de  $A_w$  hace susceptibles a los polvos a la descomposición química y microbiológica (Gabas, et al., 2009). En esta experimentación se obtuvo una  $A_w$  promedio de  $0.212 \pm 0.005$  (Tabla 1), resultado que se encuentra dentro del rango recomendado. Destacar que se empleó una solución de maltodextrina al 25%, de concentración en la alimentación que es mayor a la reportada para nano secado por aspersión (Mondragón, et al., 2013) y con 120°C que corresponde a la mayor temperatura de secado del equipo Buchi-B90. En comparación con otros trabajos que han empleado maltodextrina como material encapsulante (Klinkesorn, et al., 2006) por ejemplo con una  $T_E$  de 150 °C, Zhu J., et al., (2022) encapsularon aceite de soya en DE10 y obtuvieron una  $A_w$  de  $0.171 \pm 0.007$  y %H de  $1.9 \pm 0.12\%$ ; mientras que Yoplac, et al., (2021) encapsulo citral a una  $T_E$  de 187 °C con dextrina Amisol 4810 presentando un %H de  $5.3 \pm 1.3\%$  y una  $A_w$  de  $0.2 \pm 0.02$ , de esta manera se logró resultados comparable de  $A_w$  y %H a una menor temperatura de secado. Al respecto Negrao-Murakami et al., (2016) reportaron que un secado por aspersión con  $T_E \leq 150^\circ C$  permite preservar en buen grado los polifenoles cuando se emplea como agente encapsulante diferentes tipos de dextrinas en especial DE10 que fue la empelada en el presente trabajo. En tanto Klinkesorn, et al.,

(2006) tuvieron buenos resultados para la encapsulación de aceite de atún. Estos autores junto con otros presentados en la tabla 2 tienen en común el uso de  $T_E \geq 150^\circ\text{C}$  y destacan que a  $<T_E$  se preservan las sustancias termosensibles, (Akbarbaglu et al. 2021; Rezvani et al. 2019; Marciniak et al. 2018) como son

antioxidantes, proteínas y anticuerpos. Por consiguiente, el procedimiento implementado para NSA cuenta con la virtud de procesar una muestra con menor efecto por la degradación térmica con la ventaja de lograr una mayor productividad.

Tabla 2 Evaluación de la encapsulación por secado por aspersión de diferentes productos con el uso de maltodextrina (MD) a distintos equivalentes de dextrina (DE)

Producto procesado	Equipo	MD	% p/v	T de secado		(Aw)	% H	$\mu\text{m}$	Morfología	% R	Ref.			
				$T_E$	$T_S$									
Antocianinas de arándanos	Mini atomizador B-290 (Büchi)	DE20	9	120	79.75	0.23 $\pm 0.02^*$	5.91 $\pm 0.02^*$	17.2*	uniformes y lisas	74.4 a 85.22	Modificado de (Rosa, et al., 2018)			
				140	100	0.24 $\pm 0.02^*$	5.62 $\pm 0.02^*$	15.8*						
				160	108.25	0.21 $\pm 0.02^*$	5.21 $\pm 0.02^*$	15.5*						
Compuestos polis fenólicos	Büchi 155 B-290 (Büchi).	DE10	30	150 $\pm 5$	25 $\pm 5$	0.14 $\pm 0.005$	3.09 $\pm 0.08$	11.69 $\pm 1.80$	Aglomeradas y arrugadas	-----	(Negrao-Murakami, et al., 2016)			
				DE15			0.15 $\pm 0.003$	3.18 $\pm 0.06$				10.78 $\pm 1.22$		
				DE20			0.12 $\pm 0.004$	3.33 $\pm 0.10$				12.37 $\pm 1.57$		
Aceite de atún	Spray Niro secador con atomizador centrífugo.	DE39	20	165	-----	0.24 $\pm 0.01$	2.84 $\pm 0.05$	5-30	Uniformes y lisas, aglomeradas, algunas oclionadas	86.94 $\pm 3.64$	(Klinkeson, et al., 2006)			
				180	-----	0.19 $\pm 0.01$	1.63 $\pm 0.24$							
				195	-----	0.19 $\pm 0.02$	1.68 $\pm 0.39$							
Aceite de pescado	Nubilosa AJM 014, Italia	DE20	12.5	180	85 $\pm 5$	0.20*	2.61*	$\pm 25$	Liso y esférico, algunas eclosionadas.	83.62	Modificado de (Anwar & Kunz, 2011)			
Aceite de soja	QFN-6000Y, Shanghái, China	DE10	15	150	80	0.17 $\pm 0.007$	1.90 $\pm 0.12$	17.14 $\pm 0.81$	Partículas arrugadas	93.41	(Zhu, et al., 2022)			
						DE15						0.171 $\pm 0.008$	2.12 $\pm 0.19$	16.16 $\pm 0.10$
						DE20						0.21 $\pm 0.003$	2.33 $\pm 0.17$	26.29 $\pm 1.85$
Maltodextrina	Nano Spray Dryer Buchi B-90	DE10	25	120	30	0.212 $\pm 0.005$	5.49 $\pm 0.164$	15.11* $\pm 7.10$	Arrugada sin aglomeración	88.13	Resultados obtenidos en este estudio.			

\*promedios de ensayos realizados; MD: equivalente de dextrina;  $T_E$ : Temperatura de entrada;  $T_S$ : Temperatura de salida; % R: % de Rendimiento;  $\mu\text{m}$ : tamaño de partícula

### 3.4. Tamaño de partícula y morfología

La morfología del producto seco presenta una superficie arrugada, sin aglomeración aparente (Figura 3). Cabe mencionar que otros autores han encontrado una correlación entre la cantidad de partículas arrugadas y la cantidad de agente a encapsular; por ejemplo Both, et al., 2020, procesaron MD y suero de leche (WP) en proporciones de 50:50 y 25:75 y ellos demostraron que cuando la concentración de MD es menor que el compuesto bioactivo, la cantidad de partículas arrugadas es menor, presentando en mayor porcentaje una morfología hueca con un tamaño de partícula  $<20 \mu\text{m}$ . Dentro de sus hallazgos destaca el hecho de la transferencia inicial de calor y masa, la cual provoca una evaporación rápida que puede generar una acelerada formación de película seca (piel), que junto con una  $T_E$  menor a la temperatura de ebullición

conllevó a la obtención de partículas arrugadas en un mayor porcentaje con respecto a las huecas. Estos autores realizaron una experimentación con  $T_E$  desde 190 a 140  $^\circ\text{C}$ , y conforme se disminuyó la temperatura, la cantidad de partículas arrugadas aumentó. De esta manera, la morfología resultante de este proceso de nano secado se debe a que la  $T_E$  fue de 120  $^\circ\text{C}$ , lo que permitió la estabilidad de la partícula durante el secado y con lo cual estas no se rompieron abruptamente generando huecos (Vicente, et al., 2013). Por otro lado, la  $T_S$  fue el resultado de la  $T_E$  y la transferencia de calor, misma que no está relacionada de manera directa con la morfología.

Por otro lado, el tamaño de partícula presentó un diámetro con mayor frecuencia entre 10 y 12  $\mu\text{m}$  (Figura 4), este es mayor al comúnmente reportado para NSA que va de 1 a 5  $\mu\text{m}$ . Cuando se procesan muestras entre 0.1 y 1 % en sólidos, es ligeramente menor al de mini secadores de laboratorio y

pequeño al reportado para secado por aspersión industrial que usualmente tiene polvos de 180 a 270  $\mu\text{m}$ . Los resultados aquí obtenidos de tamaño de partícula son similares a los reportados por otros autores con mini secadores de laboratorio (Tabla 2), por ejemplo, para el encapsulamiento de fenoles (Negrao-Murakami, et al., 2016) y aceite de soja (Zhu, et al., 2022). Dicho esto, un tamaño menor de partículas obtenidas garantiza la biodisponibilidad del compuesto bioactivo.

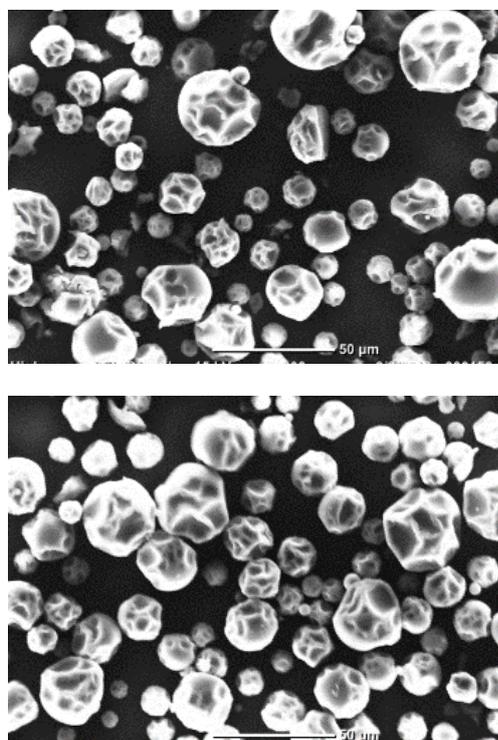


Figura 3 Micrografías de los 2 ensayos realizados en NSA con DE10 a 50  $\mu\text{m}$  de referencia.

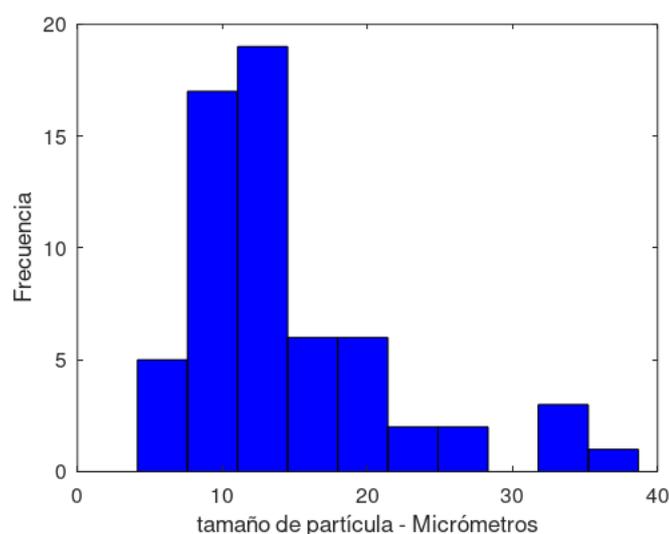


Figura 4 Tamaño de partícula obtenido de los dos ensayos analizados de DE10. Con una DE de 7.10 y un M de 15.11  $\mu\text{m}$ .

### 3.5. Rendimiento

Los equipos de secado convencional cuentan con un contenedor de muestra para la recepción del polvo. En el caso

del NSA, posee un colector donde se deposita por efecto electrostático el polvo, y este debe removerse de manera manual con una espátula plástica. De esta manera, si se tiene una baja productividad el polvo será difícil de recuperar y el rendimiento puede ser bajo. Si por el contrario, se obtiene una cantidad de muestra considerable la recuperación es mejor. De acuerdo con Li, et al., (2010), el porcentaje para la técnica de secado por NSA oscila entre el 43 y 94.5%. Para los ensayos realizados a alta productividad el rendimiento promedio fue de 88.13%, este fue ligeramente superior al de los secadores de aspersión de laboratorio como se observa en la Tabla 2. En algunas aplicaciones de encapsulación por NSA se han reportado rendimientos bajos debido a dificultades en la recolección y a condiciones de operación que causaron el depósito del producto fuera del colector (Bürki, et al., 2011; Schmid, et al., 2009, 2011).

### 4. Conclusiones.

El equipo para nano secado Buchi-90 mostró la capacidad para procesar muestras al 25% de sólidos con un rendimiento de recuperación superior al 50%, comparado al secado convencional, siendo del 88.13%.

Por otro lado, los encapsulados mostraron valores de actividad de agua y contenido de humedad idóneos para la preservación de productos químico-biológicos, estos resultados abren la posibilidad para emplear esta metodología en condiciones de mayor productividad para diferentes aplicaciones que no requieren partículas submicrométricas y de las cuales se cuenta con poca muestra en especial para estudios preliminares.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo de la cátedra COMECyT (CAT2021-2018).

### Referencias

- Abdullah, M., Iskandar, F., Shibamoto, S., Ogi, T., & Okuyama, K. (2004). Preparation of oxide particles with ordered macropores by colloidal templating and spray pyrolysis. *Acta Materialia*, 52(17), 5151–5156, <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2004.07.021>.
- Akbarbaglu, Z., Peighambaroust, S. H., Sarabandi, K., & Jafari, S. M. (2021). Spray drying encapsulation of bioactive compounds within protein-based carriers; different options and applications. *Food Chemistry*, 359, 129965, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129965>.
- Anwar, S. H., & Kunz, B. (2011). The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules: Comparison of spray granulation, spray drying, and freeze drying. *Journal of Food Engineering*, 367–378.
- Arpagaus, C. (2012). A novel laboratory- Scale spray dryer to produce nanoparticles. *Drying technology*, 1113–1121, <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.686949>.
- Both, E., Boom, R., & Schutyser, M. (2020). Particle morphology and powder properties during spray drying of maltodextrin and whey protein mixtures. *Powder Technology*, 519–524. [doi.org/10.1016/j.powtec.2020.01.001](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.01.001).
- Bürki, K., Jeon, I., Aspergaus, C., & Betz, G. (2011). New insights into respirable protein powder preparation using a nano spray dryer. *International Journal of Pharmaceutics*, 408(1-2), 248–256, <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2011.02.012>.
- Chopde, S., Datir, R., Deshmukh, G., Dhotre, A., & Patil, M. (2020). Nanoparticle formation by nanospray drying & its application

- innanoencapsulation of food bioactive ingredients. *Journal of agriculture and food research*, 2, 100085, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100085>.
- Díaz-Montes, E., Vargas-León, E. A., Garrido-Hernández, A., & Ceron-Montes, G. I. (2021). Simulación de la transferencia de calor en el contenedor de alimentación del secador por aspersión y su control de temperatura. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, <https://doi.org/10.29057/icbi.v9iEspecial2.7947>.
- E.M.Both, A.M.Karlina, R.M.Boom, & M.A.I.Schutyser. (2018). Morphology development during sessile single droplet drying of mixed maltodextrin and whey protein solutions. *Food Hydrocolloids*, 202-210, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.022>.
- Gabas, A. L., Telis-Romero, J., Giraldo-Gómez, G. I., & Nicoletti-Telis, V. R. (2009). Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. *Ciencias e Tecnología de alimentos*, 29(4), 911–918, <https://doi.org/10.1590/s0101-206120090004>.
- Gautier, S. E., Arpagaus, C., Schafroth, N., Meuri, M., Deschamps, A., & Maquet, V. (2010). Very fine Chitosan microparticles with narrow & controlled size distribution using spray-drying technologies. *Drug Delivery Technology*, 30-37.
- Hoskin, R. T., Xiong, J., Esposito, D. A., & Lila, M. A. (2019). Blueberry polyphenol-protein food ingredients: The impact of spray drying on the in vitro antioxidant activity, anti-inflammatory markers, glucose metabolism and fibroblast migration. *Química de alimentos*, 187-194.
- Jati, I. R., Darmaatmodjo, L. M., Suseno, T. I., Ristiarini, S., & Wibowo, C. (2022). Effect of Processing on Bioactive Compounds, Antioxidant Activity, Physicochemical, and Sensory Properties of Orange Sweet Potato, Red Rice, and Their Application for Flake Products. *Plants*, 11(3), 440, <https://doi.org/10.3390/plants11030440>.
- Karaca, A. C., Nickerson, M., & Low, N. H. (2013). Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin: Physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil. *Food Chemistry*, 448–457, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.040>.
- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., Decker, E. A., & McClements, J. (2006). Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. *Food Research International*, 449–457, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.09.008>.
- Laokuldilok, T., & Kanha, N. (2015). Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. *LWT - Ciencia y tecnología de los alimentos*, 405-411.
- Li, X., Anton, N., Aspergaus, C., Belleiteix, F., & Vandamme, T. F. (2010). Nanoparticles by spray drying using innovative new technology: The Büchi Nano Spray Dryer B-90. *Journal of Controlled Release*, 304-310, <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2010.07.113>.
- Marciniak, A., Suwal, S., Naderi, N., Pouliot, Y., & Doyen, A. (2018). Enhancing enzymatic hydrolysis of food proteins and production of bioactive peptides using high hydrostatic pressure technology. *Trends in Food Science & Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.013>.
- Mondragón, R., Julia, J. E., Barra, A., & Jarque, J. C. (2013). El proceso de secado por atomización: formación de gránulos y cinética de secado de gotas. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 159-168, <https://doi.org/10.3989/cyv.212013>.
- Negrao-Murakami, A. N., Nunes, G. L., Pinto, S. S., Murakami, F. S., Amante, E. R., Petrus, J. C., . . . Amboni, R. D. (2016). Influence of DE-value of maltodextrin on the physicochemical properties, antioxidant activity, and storage stability of spray dried concentrated mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). *LWT - Food Science and Technology*, 1-7.
- Padmalshwarya, S., & Anandharamakrishnan, C. (2021). 3.36 - Nanospray Drying: Principle and Food Processing Applications. *Tecnologías innovadoras de procesamiento de alimentos*, 605-633.
- Rezvani, M., Hesari, J., Peighambaroust, S. H., Manconi, M., Hamishehkar, H., & Escobedo-Ferrer, E. (2019). Potential application of nanovesicles (niosomes and liposomes) for fortification of functional beverages with Isoleucine-Proline-Proline: A comparative study with central composite design approach. *Food chemistry*, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.015>.
- Rosa, J. R., Nunes, G. L., Motta, M. H., Fortes, J. P., Weis, G. C., Heckthuer, L. H., . . . Rosa, C. S. (2018, Noviembre 25). Microencapsulation of anthocyanin compounds extracted from blueberry (*Vaccinium* spp.) by spray drying: characterization, stability and simulated gastrointestinal conditions. *Food Hydrocolloids*, 1-33.
- Schafroth, N., Arpagaus, C., Jadhav, U. Y., Makne, S., & Douroumis, D. (2012). Nano and microparticle engineering of water insoluble drugs using a novel spray-drying process. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 8-15, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.09.038>.
- Schmid, K., Arpagaus, C., & Friess, W. (2009n). Evaluation of a Vibrating Mesh Spray Dryer for Preparation of Submicron Particles. *Respiratory Drug Delivery Europe*, 323-226.
- Schmid, K., Arpagaus, C., & Friess, W. (2011). Evaluation of the Nano Spray Dryer B-90 for pharmaceutical applications. *Pharmaceutical development and technology*, 16(4), 287–294, <https://doi.org/10.3109/10837450.2010.485320>.
- Vicente, J., Pinto, J., Menezes, J., & Gaspard, F. (2013). Fundamental analysis of particle formation in spray drying. *Powder Technology*, 1-7, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.06.038>.
- Yoplac, I., Vargas, L., Robert, P., & Hidalgo, A. (2021). Yoplac, I., Vargas, L., Robert, P., & Hidalgo, A. (2021). Characterization and antimicrobial activity of microencapsulated citral with dextrin by spray drying. *Heliyon*, 7(4). e06737, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06737>.
- Zhu, J., Li, X., Liu, L., Li, Y., Qi, B., & LianzhouJiang. (2022). Preparation of spray-dried soybean oil body microcapsules using maltodextrin: Effects of dextrose equivalence. *LWT*, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112874>.