

Microencapsulation of *Apis mellifera* honey by spray drying with *Opuntia ficus indica* mucilage as covering material

Miranda-Jara, Angélica, Mg.¹, Arteaga-Llacza, Pedro, Mg.¹, Quispe-Prado, Wilber, Dr.¹, Chuquilín-Goicochea, Roberto, Dr.²,

¹Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú, amiranda@unfv.edu.pe, parteaga@unfv.edu.pe, wquispe@unfv.edu.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, roberto.chuquilin@upn.edu.pe

Abstract— The objective was the microencapsulation of bee honey in matrices of maltodextrin and nopal mucilage to calculate the performance, solubility and hygroscopicity of the micro encapsulation using the Box-Behnken surface response design that reported 12 treatments with the minimum and maximum ranges. used were temperature (100 °C to 110 °C), maltodextrin (25 to 30%) and nopal mucilage (15 to 25%). The best performance T9 at 110°C temperature, 27.5% maltodextrin concentration and 25% mucilage concentration, highest solubility was T9 reporting 52.9%, the lowest hygroscopicity value was T11 with 100°C temperature 30%, concentration of maltodextrin and cactus mucilage at 20%; reaching a hygroscopicity of 6.9%. More research is still needed on novel alternatives for new wall materials and encapsulation materials, as well as to improve and optimize currently used encapsulation techniques.

Keywords—Microencapsulation, A. mellifera honey, spray drying, mucilage, prickly pear.

Microencapsulación de miel de *Apis mellifera* mediante secado por atomización con mucílago de *Opuntia ficus indica* como material cobertor

Miranda-Jara, Angélica, Mg.¹, Arteaga-Llacza, Pedro, Mg.¹, Quispe-Prado, Wilber, Dr.¹, Chuquilín-Goicochea, Roberto, Dr.²

¹Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú, amiranda@unfv.edu.pe, parteaga@unfv.edu.pe, wquispe@unfv.edu.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, roberto.chuquilin@upn.edu.pe

Resumen— El objetivo fue la microencapsulación de la miel de abeja en matrices de maltodextrina y mucílago de nopal para calcular el rendimiento, la solubilidad y la higroscopicidad del micro encapsulado mediante el uso del diseño superficie respuesta Box-Behnken que reportó 12 tratamientos los rangos mínimos y máximos utilizados fueron temperatura (100 °C a 110°C), maltodextrina (25 a 30%) y de mucílago de nopal (15 a 25%). El mejor rendimiento T9 a 110°C de temperatura, 27,5% de concentración de maltodextrina y 25% de concentración de mucílago, mayor solubilidad fue T9 reportando 52,9%, el valor más bajo de higroscopicidad fue T11 con 100°C de temperatura 30%, concentración de maltodextrina y mucílago de nopal al 20%; alcanzando una higroscopicidad del 6,9%. Todavía es necesario investigar más sobre alternativas novedosas para nuevos materiales de pared y materiales de encapsulación, así como para mejorar y optimizar las técnicas de encapsulación utilizadas actualmente.

Palabras clave—Microencapsulación, Miel de *A. mellifera*, secado por aspersion, mucílago, nopal.

I. INTRODUCCIÓN

La microencapsulación ha progresado hacia una técnica a escala industrial, que permite la producción masiva de formulaciones de partículas, aunque la producción de micro encapsulados en polvo de alto valor biológico sigue siendo un desafío y se limita a la escala de laboratorio, sin embargo, una de las mayores barreras para la traducción de un producto atomizado al mercado es la ampliación técnicas y cobertores como son las gomas de diferentes fuentes vegetales [1]. Esto condujo al desarrollo y la utilización de enfoques fundamentales de diseño de partículas basados en modelos informáticos para minimizar el ensayo y error, así como para ahorrar tiempo y costos, lo que ayuda a mejorar el control sobre las propiedades del producto [2]. La experiencia práctica y el conocimiento del operador con respecto al micro encapsulado y componentes, las propiedades del producto de los experimentos a escala piloto y los efectos de variables como la transferencia de calor y masa y la humedad también son muy importantes para el micro encapsulado exitoso a escala industrial [3]. La microencapsulación por atomización es una técnica de operación de procesamiento continuo de partículas de un solo paso ampliamente utilizada para la conversión de una solución líquida, emulsión, pasta o suspensión en un polvo seco sólido, gránulo o aglomerado [1]. Las condiciones óptimas en el desarrollo de miel en polvo son la temperatura del aire de entrada (170 °C), la velocidad de

alimentación (0,11 ml s⁻¹) [4]. Como también menciona que la higroscopicidad de los polvos es relacionada con el tamaño de partícula el polvo del tamaño de partícula más pequeño es el más higroscópico.

En los últimos años, debido a sus beneficios para la salud, la miel de abeja se utiliza como ingredientes funcionales cada vez más en productos alimenticios procesados [5]. La miel tiene una infinidad de propiedades nutricionales y el problema radica en la formación de HMF hidroximetil furfural que es un compuesto nocivo para la salud que aparece espontáneamente en la miel por el contenido de humedad y la temperatura y tiempo de almacenamiento no adecuado por lo tanto hoy en día se busca como reducir estos compuestos nocivos para la salud de los consumidores [6]. La encapsulación mediante el secado por atomización la obtención de emulsiones estables con un posterior proceso de secado adecuado para su conversión en polvo micro encapsulado con gomas como el mucílago de opuntia ficus indica material es esencial para preparar mieles micro encapsulados [7]. Diferentes factores como las características de la emulsión madre miel agua, el contenido total de sólidos, el tipo de material de la pared y del núcleo, y las condiciones de procesamiento de la microencapsulación (temperatura, pH, tipo y velocidad de secado) pueden afectar a las propiedades fisicoquímicas y a la estabilidad de las micropartículas de miel de abeja. El objetivo de este trabajo fue evaluar la microencapsulación de miel de *Apis mellifera* mediante secado por atomización con mucílago de *Opuntia ficus indica* como material cobertor.

II. METODOLOGÍA

Para la elaboración de las microcápsulas se utilizó 10 kg de muestra de miel de abeja (*Apis mellifera*) y mucílago de *Opuntia ficus indica* (nopal), provenientes de la zona de vida del valle Pampas Provincia de Chincheros, Región de Apurímac.

A. Obtención del mucílago de opuntia ficus indica

La metodología utilizada para la extracción del mucílago de nopal fue según la metodología empleada por [8], [9], que se centró en 4 parámetros la relación nopal/agua 1:3 (w/v), la relación de mezcla en solución de mucílago/etanol, 1:2, (v/v) el tiempo de calentamiento: 1h y el pH se ajustó a pH 4 y 5

B. Microencapsulación de miel de *Apis mellifera*

La obtención de las microcápsulas se realizó siguiendo los pasos recomendados por [6] como se muestra en la figura 1, se mezclaron los encapsulantes en porcentajes diferentes obtenidos del diseño experimental y la muestra de miel fue constante de 10 ml para todos los tratamientos.

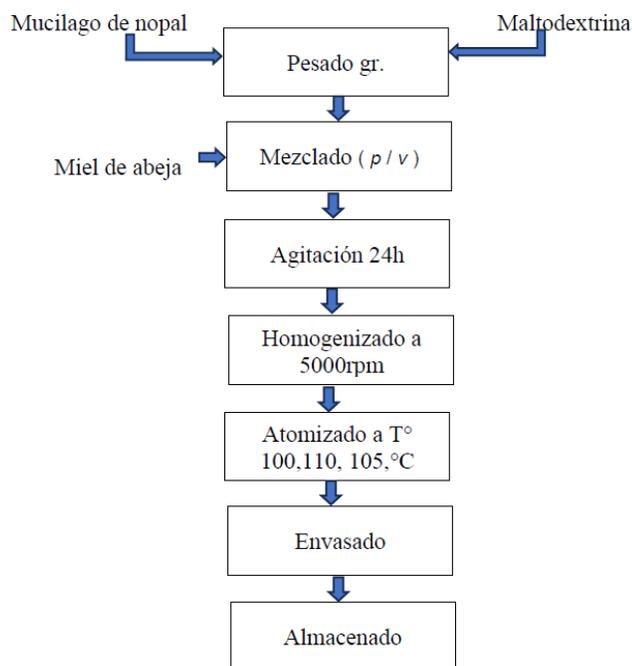


Fig. 1 Diagrama de Flujo

Agitación: Se utilizó un agitador termomagnético (tipo M6, CAT, Ballrechten-Dottingen, Alemania) para agitar durante 24 horas

Homogenizado: Las mezclas de miel y material cobertor se homogeneizaron en un Ultra Turrax (Daihan, HG15D, Wonju, Corea) durante tres minutos a 5000 RPM.

Atomizado: Se realizó utilizando un secador de pulverización (Mini Spray Dryer B-290, Büchi Labortechnik AG, Flawil, Suiza) con un pulverizador de 0,7 mm, un caudal de aire de 650 L/h y temperaturas de 100, 105 y 110 °C.

Envasado y almacenado: Hasta el envío de las muestras para su análisis, las microcápsulas de miel se conservaron en recipientes de polietileno con tapa hermética en un desecador.

C. Solubilidad

Para analizar, se disolvieron 2,5 g de las microcápsulas en 250 mL de agua destilada y se agitaron durante 5 minutos para producir una solución homogénea. A continuación, se separó el sobrenadante mediante centrifugación a 5000 rpm durante 5 minutos en una centrifugadora Centurión CR4000R (Pocklington, Reino Unido). Por último, se secó una alícuota del sobrenadante durante cinco horas a 105 °C en un horno de convección forzada BINDER FED 115 situado en Tuttlingen, Alemania. El cálculo se realizó considerando el peso inicial del polvo encapsulado (P1) y el peso del polvo seco después de la disolución (P2); como se muestra en la ecuación (1)

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{P1}{P2} \times 100 \quad (1)$$

D. Higroscopicidad

Se distribuyó un gramo de la muestra en 100 mL de una solución saturada de NaCl (75% de humedad relativa) dentro de un recipiente hermético. La temperatura de 25 °C se mantuvo constante. Las muestras se pesaron de nuevo y el porcentaje de crecimiento de la masa se expresó al cabo de 7 días; considerando la Masa de la placa de Petri vacía (M1), la masa de placa Petri más muestra (M2) y la masa de placa Petri más la muestra después de siete días (M3) utilizando la relación expresada en la ecuación (2).

$$\% \text{ Higroscopicidad} = \frac{M3 - M2}{M2 - M1} \times 100 \quad (2)$$

E. Rendimiento de encapsulación

Para calcularlo se tuvo en cuenta la masa final (Ma1) del polvo atomizado en relación con la masa inicial total (Ma2), mostrada a continuación en la ecuación (3).

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{Ma1}{Ma2} \times 100 \quad (3)$$

F. Diseño experimental

Para este estudio, se utilizó el método de superficie de respuesta, basado en un modelo lineal multivariado para evaluar el efecto de tres variables independientes del proceso sobre tres variables de respuesta [10]. Este método se aplicó utilizando Design-Expert versión 8.0.7.1, para identificar los niveles óptimos de las tres variables, es decir, temperatura (°C), concentración de mucilago (%), concentración maltodextrina (%), con respecto a tres respuestas como son rendimiento, solubilidad e higroscopicidad, de miel en polvo secada por aspersión recubierta con mucilago de *Opuntia ficus indica* y maltodextrina. Se realizó mediante el diseño Box-Behnken recomendado por [4] y [11] de tres factores y tres niveles [12] y [13] que consta de 8 series experimentales que incluyen 4 puntos centrales, con un orden de experimentos completamente aleatorio que se utilizó para explorar la relación entre varias variables independientes y variables de respuesta mostradas en la tabla I.

TABLA I
RANGOS DE VALORES UTILIZADOS EN EL DISEÑO BOX-BEHNKEN

Variables	Rangos de valores
X1 Temperatura	100°C a 110°C
X2 % de mucilago	15% a 25%
X3 % de maltodextrina	25% a 30%

El diseño de Box-Behnken utiliza el diseño factorial completo 22 para generar un mayor número de factores agregando sistemáticamente un nivel medio entre los niveles bajo y alto de los factores. La figura 2 grafica los diseños de Box-Behnken para tres factores. Por lo tanto, se convierte en un diseño factorial de tres niveles, para el cual se puede ajustar un modelo lineal completo (orden cero) para la superficie de

respuesta. Se emplearon ecuaciones polinómicas para generar gráficos de superficie 3D para observar la correlación entre las variables dependientes y los valores de cada variable independiente como se muestra en la figura 2.

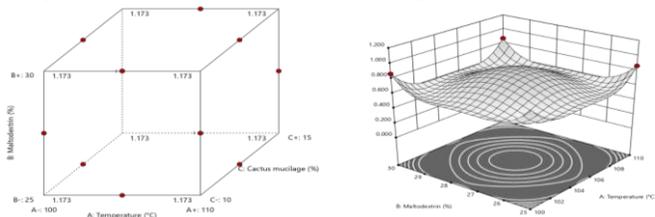


Fig. 2 Diseños de Box-Behnken para tres factores

Se aplicó el diseño Box-Behnken con 12 corridas experimentales (4 puntos centrales incluidos) generadas por el método de superficie de respuesta para optimizar las condiciones operativas que incluyen temperatura (X1) de 100 °C a 110 °C, concentración de mucilago de *Opuntia Ficus Indica* (X2) de 15% a 25% y concentración de maltodextrina (X3) de 25% v/v a 30% v/v, como se puede apreciar en la Tabla II.

TABLA II
DISEÑO BOX-BEHNKEN CON 12 TRATAMIENTOS

Tratamientos	X1	X2	X3
	Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	Mucilago (%)
T1	110	25,0	20
T2	105	25,0	15
T3	105	25,0	25
T4	100	27,5	15
T5	105	30,0	15
T6	110	27,5	15
T7	100	25,0	20
T8	110	30,0	20
T9	110	27,5	20
T10	100	30,0	25
T11	105	30,0	25
T12	100	27,5	25

III. RESULTADOS

Los factores experimentales y valores medidos de las respuestas se presentan en la tabla 3. Los factores de proceso fueron (X1), (X2) y (X3). Las respuestas se midieron como rendimiento (Y1), solubilidad (Y2) e higroscopicidad (Y3); expresadas como porcentaje (%).

Tratamientos	Y1	Y2	Y3
	Rendimiento (%)	Solubilidad (%)	Higroscopicidad (%)
T1	47.9	91.3	8.48
T2	35.2	90.6	7.32
T3	39.5	90.82	7.92
T4	29.5	88.51	6.51
T5	40.6	90.65	7.56
T6	45.2	90.91	8.42
T7	31.2	88.79	6.82
T8	50.7	91.42	9.32

T9	52.9	92.52	9.52
T10	32.8	89.3	6.9
T11	42.3	90.83	8.22
T12	34.8	89.7	7.24

Análisis del rendimiento

La figura 3 muestra el rendimiento de las microcápsulas, alcanzando los tratamientos (T8) y (T9) valores más altos (50.7% y 52,9% respectivamente), con una temperatura de secado de 110°C, los rendimientos más bajos se dieron en los tratamientos (T4) y (T7) alcanzando 29.5% y 31.2% respectivamente con una temperatura de secado de 100°C. [14] Reporta un rendimiento entre el 51% trabajando con una temperatura de 120°C.

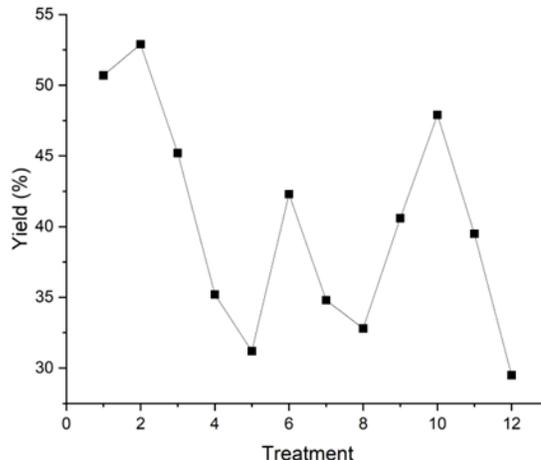


Fig. 3 Solubilidad en las microcápsulas de miel de Abeja.

Se reporta mayores rendimientos con la técnica de microencapsulación por polimerización interfacial que logra una pared de recubrimiento más delgada en una relación de 5 a 15% de la masa total encapsulada, esto permite que el encapsulado tenga un mayor porcentaje [14], siendo su principal desventaja la no biodegradabilidad del recubrimiento [15] lo cual dificulta su aplicación en alimentos.

Análisis de la solubilidad

La figura 4 muestra la solubilidad en las microcápsulas de los tratamientos (T8) y (T9), alcanzaron los valores más altos (91.42% y 92.52% respectivamente); a su vez los tratamientos (T7) y (T8) alcanzaron los valores más bajos de solubilidad (88.51% y 88.79% respectivamente). La temperatura más alta que se empleó para el secado fue de 110°C para (T8) y (T9), esto resultó favorable para incrementar la solubilidad favoreció la obtención de estos valores elevados; por su parte [12] reportó solubilidades de polvo de propóleo empacado al vacío entre 45,27% a 61,29% con un valor promedio de 52,72%; por su lado [15] informó valores entre 89.63% a 92.84% trabajando con una temperatura de secado de 120°C. La solubilidad es el indicador en la evaluación del comportamiento de un material particulado en una solución acuosa [14]; se puede inferir que la solubilidad se ve afectada por la temperatura de secado del equipo de aspersión.

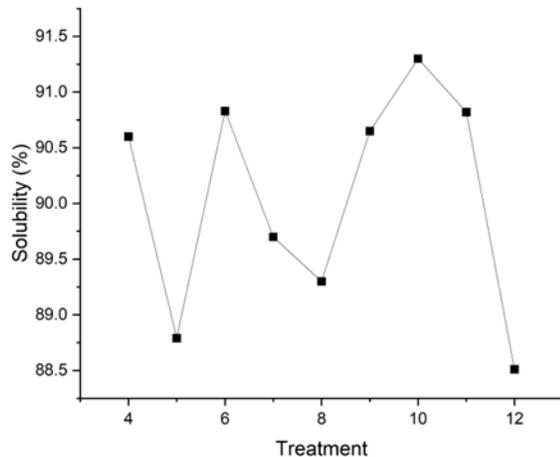


Fig. 4 Solubilidad en las microcápsulas de miel de Abeja.

Análisis de la higroscopicidad

La figura 5 muestra, los valores de higroscopicidad en las microcápsulas correspondientes a los tratamientos (T9) y (T8) reportaron los valores más altos entre 9.32% y 9.53% respectivamente; mientras que los tratamientos (T4) Y (T10) mostraron los valores más bajos entre 6.51% y 6.82% respectivamente; los valores (8.48 y 7.92 respectivamente) de los tratamientos (T1) y (T3) fueron similares a los valores (8.22 – 8.38) alcanzado por [13] reportados en los encapsulados de propóleo; y los valores entre (8.4 – 8.5) determinados por [16]; de acuerdo a lo que menciona [9] se toma como valor límite de referencia el 20% para la conservación de productos deshidratados.

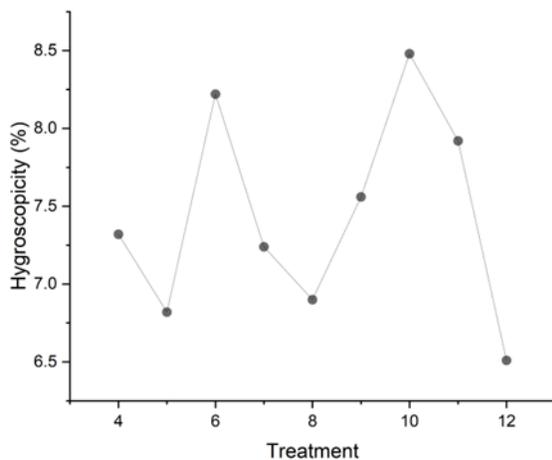


Fig. 5 Higroscopicidad en las microcápsulas de miel de Abeja.

IV. CONCLUSIONES

Se deshidrató miel en polvo mediante el uso del diseño superficie respuesta Box-Behnken que reporto 12 tratamientos los rangos mínimos y máximos utilizados fueron temperatura de. (100 °C a 110°C), maltodextrina (25 a 30%) y de mucílago

de nopal (15 a 25%). Se consiguió el mejor rendimiento T9 a 110°C de temperatura 27.5% de concentración de maltodextrina y 25% de concentración de mucílago, la mayor solubilidad fue reportada en el tratamiento 9 con 52.9%. Se reportó el valor más bajo de higroscopicidad fue T11 con 100°C de temperatura 30%. concentración de maltodextrina y concentración de mucílago de nopal al 20%; alcanzando una higroscopicidad del 6,9%.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional Federico Villarreal por proporcionar el financiamiento para el desarrollo del proyecto, así como a la unidad de investigación de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas (FIIS) y al Vicerrectorado de Investigación Académica y Consejo (VRAC) por su gran apoyo.

REFERENCIAS

- [1] F. Emami, A. Vatanara, E. J. Park, y D. H. Na, «Drying Technologies for the Stability and Bioavailability of Biopharmaceuticals», *Pharmaceutics*, vol. 10, n.o 3, p. 131, ago. 2018, doi: 10.3390/pharmaceutics10030131.
- [2] S. Keshani, M. H. Montazeri, W. R. W. Daud, y M. M. Nourouzi, «CFD Modeling of Air Flow on Wall Deposition in Different Spray Dryer Geometries», *Dry. Technol.*, vol. 33, n.o 7, pp. 784-795, may 2015, doi: 10.1080/07373937.2014.966201.
- [3] A. Al-Khattawi, A. Bayly, A. Phillips, y D. Wilson, «The design and scale-up of spray dried particle delivery systems», *Expert Opin. Drug Deliv.*, vol. 15, n.o 1, pp. 47-63, ene. 2018, doi: 10.1080/17425247.2017.1321634.
- [4] Y. Suhag y V. Nanda, «Optimisation of process parameters to develop nutritionally rich spray-dried honey powder with vitamin C content and antioxidant properties», *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 50, n.o 8, pp. 1771-1777, 2015, doi: 10.1111/ijfs.12841.
- [5] K. Samborska et al., «Innovations in spray drying process for food and pharma industries», *J. Food Eng.*, vol. 321, p. 110960, may 2022, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.110960.
- [6] C. R. García Cerqueda, «Evaluación de agentes encapsulantes y su efecto en las propiedades fisicoquímicas de los polvos de miel secados por aspersión», dic. 2019, Accedido: 22 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIRO_AX/427
- [7] D. Bolívar, «Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México (RI - TecNM): Optimización de un proceso de secado por aspersión para la obtención de un producto en polvo de miel melipona becheii.» Accedido: 30 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/1775>
- [8] B. V. Ruales Guzmán y C. Novoa, *Alternative Method to Monitor the Aroma Production During Fermentation of Yogurt*. 2012.
- [9] L. Tang et al., «The structural characterization, physicochemical properties, and stability of gardenia yellow pigment microcapsules», *LWT*, vol. 162, p. 113507, jun. 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2022.113507.
- [10] J. Zhu, X. Li, L. Liu, Y. Li, B. Qi, y L. Jiang, «Preparation of spray-dried soybean oil body microcapsules using maltodextrin: Effects of dextrose equivalence», *LWT*, vol. 154, p. 112874, ene. 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2021.112874.
- [11] K. Pant, M. Thakur, H. K. Chopra, y V. Nanda, «Encapsulated bee propolis powder: Drying process optimization and physicochemical characterization», *LWT*, vol. 155, p. 112956, feb. 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2021.112956.
- [12] S. Insang, I. Kijpatanasilp, S. Jafari, y K. Assatarakul, «Ultrasound-assisted extraction of functional compound from mulberry (*Morus alba* L.) leaf using response surface methodology and effect of microencapsulation by spray drying on quality of optimized extract»,

- Ultrason. Sonochem., vol. 82, p. 105806, ene. 2022, doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105806.
- [13] C. A. Ligarda-Samanez et al., «Microencapsulation of Propolis and Honey Using Mixtures of Maltodextrin/Tara Gum and Modified Native Potato Starch/Tara Gum», *Foods*, vol. 12, n.o 9, Art. n.o 9, ene. 2023, doi: 10.3390/foods12091873.
- [14] L. K. Munevar Ortiz, “Producción y caracterización de microcápsulas de aceite mineral por polimerización interfacial.”
- [15] A. I. Torres Suárez, “Micro y nano encapsulación”
- [16] M. W. Woo, W. R. W. Daud, A. S. Mujumdar, Z. Wu, M. Z. Meor Talib, y S. M. Tasirin, «CFD Evaluation of Droplet Drying Models in a Spray Dryer Fitted with a Rotary Atomizer», *Dry. Technol.*, vol. 26, n.o 10, pp. 1180-1198, sep. 2008, doi: 10.1080/07373930802306953.