

EVALUACIÓN DE LA MICROENCAPSULACIÓN DE COLÁGENO PORCINO HIDROLIZADO EN MATRICES DE MALTODEXTRINA Y GOMA DE TARA

Data de submissão: 09/06/2023

Data de aceite: 01/08/2023

Thamirys Gabriela Ccana Buleje

Universidad Nacional José María
Arguedas
Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0009-0007-5748-2150>

Carlos A. Ligarda-Samanez

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

David Juan Ramos Huallpartupa

Universidad Nacional José María
Arguedas
Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0001-9223-2375>

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>

Fredy Taipe-Pardo

Universidad Nacional José María
Arguedas
Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0002-8234-7643>

Henry Palomino-Rincón

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

RESUMEN: La microencapsulación por secado por aspersión es uno de los métodos más utilizados para proteger compuestos bioactivos en el mundo, además permite enmascarar sabores indeseables en diversos productos alimentarios. El objetivo de la investigación fue evaluar la microencapsulación de colágeno porcino hidrolizado en matrices de maltodextrina y goma de tara, para lo cual se extrajo enzimáticamente con pancreatina el colágeno hidrolizado a partir de extremidades de porcino, que luego se microencapsularon por secado por aspersión en el equipo Mini Spray Dryer B-290 variando la temperatura de entrada (140 y 160 °C) y el porcentaje

de núcleo (5 y 10 %) con un diseño factorial 2², se cuantificaron también variables dependientes como el contenido de proteínas, humedad, actividad de agua, densidad aparente, higroscopicidad, tamaño de partícula y microfotografías SEM. El contenido de proteína en los microencapsulados varió entre 17.82 y 29.36 %, la humedad entre 1.58 y 4.71 %, la actividad de agua entre 0.45 y 0.46, la higroscopicidad entre 24.7 y 38.01 y el tamaño de partícula entre 4.85 y 6.52 μm . Las microfotografías estructurales mostraron micropartículas esféricas con hendiduras de superficie lisa. Finalmente, se concluye que el microencapsulado a una temperatura de entrada de 160 °C y 10 % de núcleo obtuvo los mejores resultados y podría ser utilizado en la formulación de alimentos funcionales y nutraceuticos.

PALABRAS CLAVE: Colágeno porcino hidrolizado, proteínas, microencapsulación, hidrólisis enzimática.

ABSTRACT: Microencapsulation by spray drying is one of the most widely used methods to protect bioactive compounds worldwide, in addition to masking undesirable flavors in various food products. The objective of the research was to evaluate the microencapsulation of hydrolyzed porcine collagen in maltodextrin. Tara gum matrices, for which the hydrolyzed collagen was extracted enzymatically with pancreatin from porcine limbs, were then microencapsulated by spray drying in the Mini Spray Dryer B-290 equipment, varying the inlet temperature (140 and 160 °C). The core percentage (5 and 10 %) with a factorial design 2², dependent variables such as protein content, moisture, water activity, bulk density, hygroscopicity, particle size, and SEM microphotographs were also quantified. The protein content in the microencapsulates varied between 17.82 and 29.36 %, moisture between 1.58 and 4.71 %, water activity between 0.45 and 0.46, hygroscopicity between 24.7 and 38.01, and particle size between 4.85 and 6.52 μm . Structural microphotographs showed spherical microparticles with smooth surface indentations. Finally, it is concluded that microencapsulation at an inlet temperature of 160 °C and 10 % nucleus obtained the best results and could be used to formulate functional foods and nutraceuticals.

KEYWORDS: Hydrolyzed porcine collagen, proteins, microencapsulation, enzymatic hydrolysis.

1 | INTRODUCCIÓN

El colágeno de porcino ofrece baja inmunogenicidad, buena biocompatibilidad y biodegradabilidad, también interactúa específicamente con otras biomoléculas debido a que contiene secuencias específicas que miden la regulación de la morfología, adhesión, migración y diferenciación de células, es una proteína estructural que tiene muchos beneficios para la salud especialmente en su forma hidrolizada (Adragna y Jurczysyn, 2018).

El colágeno nativo se caracteriza por su difícil digestión, es por esta razón que para que se pueda mejorar su consumo se procesa en péptidos hidrolizados de colágeno para su mayor biodisponibilidad. Este proceso, conocido como hidrólisis, implica la descomposición de los enlaces moleculares entre los filamentos de colágeno individuales en pequeños

péptidos que pueden ser digeridos y absorbidos por el organismo. Entonces, estos péptidos se pueden utilizar en una amplia gama de suplementos muy beneficiosos, que pueden contribuir positivamente a la salud de huesos y articulaciones, frenar el envejecimiento, acelerar la recuperación tras el ejercicio y mejorar el aspecto de la piel (PEPTAN, 2020).

El cerdo es un animal monogástrico, la composición de sus nutrientes está influenciada básicamente por la alimentación variada que recibe (INTERPORC, 2014), además actualmente se conoce que los derivados provenientes de este animal contribuyen con diferentes nutrientes esenciales en la dieta de las personas en todo el mundo, existiendo cada vez más una tendencia a consumir alimentos saludables (Garrido et al., 2006).

La microencapsulación es un proceso mediante el cual se aplica un recubrimiento, revestimiento o material de pared para proteger ingredientes sensibles, evitar pérdida de ingredientes volátiles y permitir la liberación controlada del material del núcleo (Eraso & Aníbal, 2014). En el campo de alimentos, se hace referencia a la microencapsulación como una técnica mediante la cual gotas de un líquido, partículas sólidas o compuestos gaseosos se atrapan en películas delgadas de un agente encapsulante de calidad alimentaria, mediante la cual se proporciona una barrera física entre el compuesto de núcleo y los componentes del producto (Gharsallaoui et al., 2007).

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Extracción de colágeno hidrolizado de porcino y microencapsulación

Se seleccionaron los residuos de porcino (patas) libres de enfermedades de acuerdo con el muestreo intencional desarrollado. Luego se pesaron y lavaron con agua potable con el fin de eliminar restos de huesos, grasa y cualquier otra materia extraña que pudiera tener un efecto adverso en el producto final.

Para la extracción del colágeno se colocaron los residuos del porcino en una olla a presión hasta mantener la ebullición por alrededor de hora y media. Posteriormente se filtró el agua caliente con la ayuda de un colador y una gaza, luego se dejó enfriar el filtrado para lograr la gelatinización y poder extraer la grasa que se formó en la parte superior. Una vez obtenido el colágeno se dividió en vasos de precipitados de 1L para realizar el hidrolizado y posterior secado en una estufa a 60 °C.

Para la hidrólisis proteica se empleó la técnica descrita por Benítez et al., (2008), regulando el pH con NaOH 1N para que la enzima pancreatina, una vez alcanzadas las condiciones adecuadas de pH y temperatura se adicionó la pancreatina dejándose reaccionar por el lapso de 1 hora en agitación constante. Las condiciones para la obtención del colágeno hidrolizado fueron a una temperatura de 37 °C y 24 horas en un baño maría termo controlado.

Para la microencapsulación se tomaron 2 g de encapsulantes (mezcla de 95 % de maltodextrina y 5 % de goma de tara) que se diluyeron en 10 mL de agua ultrapura, la cual se dejó en agitación por 24 horas. Por otro lado, se prepararon soluciones al 10 y 20 % de colágeno porcino hidrolizado en 10 mL de agua ultrapura para cada uno de los tratamientos desarrollados. Finalmente, se mezclaron ambas soluciones para obtener concentraciones de 5 y 10 % de núcleo que luego se atomizaron en el Mini Spray Dryer B-290. Los tratamientos fueron T1 (140 °C y 5 % de núcleo), T2 (160 °C y 5 % de núcleo), T3 (140 °C y 10 % de núcleo) y T4 (160 °C y 10 % de núcleo).

2.2 Cuantificación de Proteínas

Se utilizó el método micro-Kjeldahl para lo cual se pesó aproximadamente 0.5 g de muestra en un tubo de 50 mL, en el mismo tubo se añadió 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado, esto se llevó a una plancha de arena hasta solución incolora, se dejó enfriar y se destiló con hidróxido de sodio al 40 % en un volumen de aproximadamente de 15 mL, el destilado se recibió en un matraz de 100 mL conteniendo 5 mL de indicador para proteínas (ácido bórico, rojo de metileno y verde de bromo cresol), hasta un cambio de color rojo a verde, lo cual nos indicó que finalizó el proceso de destilación. Por último, se valoró con una solución de ácido clorhídrico de concentración 1N, hasta un cambio de color rojo. Se calculó el contenido de nitrógeno y se multiplicó por el factor 6.25 para expresar el porcentaje de proteína.

2.3 Humedad

Se determinó el contenido de humedad por el método descrito por García y Fernández, (2012), por la diferencia de peso de la muestra inicial y la muestra final, secadas en la estufa de convección forzada Binder a 105 °C.

$$\%H_{bs} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (1)$$

$\%H_{bs}$ = Porcentaje de humedad en base húmeda.

m_1 = masa inicial.

m_2 = masa final.

2.4 Actividad de agua (A_w)

Se determino la actividad de agua empleando el determinador de actividad de agua de marca Rotronic, modelo HygroPalm23-AW (Bassersdorf, Suiza).

2.5 Densidad aparente

La densidad aparente se determinó colocando una cantidad conocida de encapsulante en una probeta graduada de 10 mL, luego se golpeó suavemente contra una superficie plana, para poder registrar la masa en gramos y el volumen.

2.6 Higroscopicidad

La higroscopicidad del microencapsulado se determinó mediante el protocolo de Saikia et al., (2015), para lo cual se pesó 0.2 g de muestra del microencapsulado secado por aspersión y se colocó en un desecador con solución salina saturada de cloruro de sodio (humedad relativa del 75.09%) durante 7 días manteniendo una temperatura de 30 °C. Finalizado el tiempo, se pesó las muestras restantes y se determinó la higroscopicidad expresada en porcentaje según la fórmula

$$H(\%) = \frac{\text{Peso saturado} - \text{peso seco}(g)}{\text{peso seco}} * 100 \quad (2)$$

2.7 Tamaño de partícula

El tamaño de partícula se determinó por difracción de la luz de un láser de helio-neón (He-Ne) de 600 nm en un Mastersizer 3000 (Malvern Instruments, Worcestershire, Reino Unido). Los microencapsulados en una cantidad suficiente se dispersaron en isopropanol y se sonicaron durante 60 s hasta que se alcanzó el oscurecimiento óptimo en el equipo. Los resultados se obtuvieron a partir del promedio de diez mediciones por muestra.

2.8 Análisis por microscopio electrónico de barrido (SEM)

La microestructura se analizó mediante un microscopio electrónico de barrido Prisma E (Thermo Fisher, Massachusetts, USA), a un voltaje de aceleración de 30 kV y una magnificación de 1000x y 2000x. Se usaron cintas de carbonó en las que se colocaron las muestras de los microencapsulados para realizar las lecturas.

3 | RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Caracterización del colágeno porcino hidrolizado

3.1.1 Proteína

En la Tabla 1 se observa un elevado contenido de proteínas en el colágeno hidrolizado porcino (52.03 %), valor que fue cercano al reportado por Garrido et al., (2006) en su investigación sobre colágeno de piel de cerdo obtenido controlando el pH y concentración de cloruro de sodio, los mencionados autores informaron un contenido de proteína de 57.9 %. Se conoce que las proteínas tienen la capacidad de ser anfóteras y por lo tanto toman el pH de la solución en la cual se encuentran. El resultado menor reportado en la presente investigación sería atribuido a la etapa de hidrólisis enzimática y debido al pH controlado que se utilizó. Al respecto Bailey y Light (1989), indican que la hidratación del colágeno es baja a pH entre 6 y 8, y se incrementa en valores extremos.

Colágeno porcino hidrolizado	Proteínas (%)			
	\bar{x}	\pm	<i>s</i>	CV (%)
	52.03	\pm	0.65	0.01

Dónde: \bar{x} es el promedio muestral, *s* es la desviación estándar muestral y CV el coeficiente de variación.

Tabla 1. Contenido de proteína en el colágeno porcino hidrolizado.

3.2 Influencia de la temperatura de entrada y porcentaje de núcleo en las propiedades estudiadas

3.2.1 Proteína

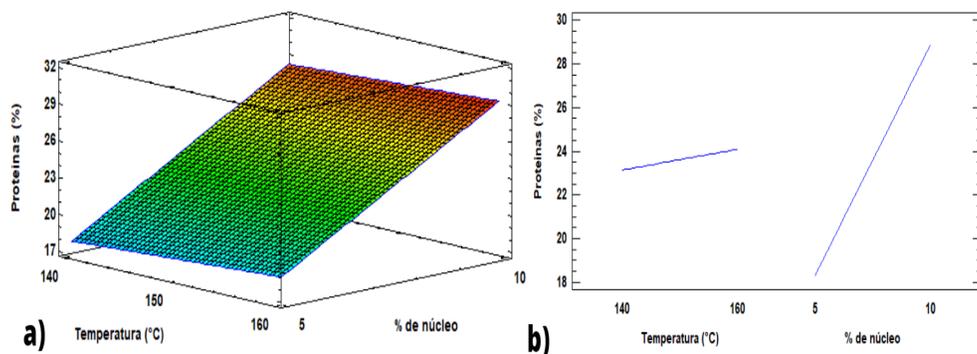
En la Tabla 2 se muestra el contenido de proteínas en los cuatro tratamientos, los cuales estuvieron entre 17.82 y 29.36 %, el tratamiento con mayor porcentaje de proteína fue el T4CHP, el cual contenía 10 % de núcleo y que fue atomizado a una temperatura de entrada de 160 °C. Los resultados de proteína del presente estudio fueron similares a lo reportado por Palamutoğlu y Sariçoban (2016), quienes realizaron la microencapsulación de colágeno hidrolizado de escamas de pescado en maltodextrina, los mencionados autores informaron contenidos de proteína entre 18.42 y 22.56 %. Además, informaron que los resultados de proteínas en los hidrolizados de colágeno dependían de la dosis de cada tratamiento. Similar porcentaje de proteína reportó García et al., (2004) en su trabajo de investigación sobre microencapsulación de jugo de cebada verde secado por aspersión en el cual informó un contenido de proteína de 19.72 %.

Tratamientos	Proteína (%)			
	\bar{x}	\pm	<i>s</i>	CV (%)
T1	17.82	\pm	0.18	1.01
T2	18.82	\pm	0.01	0.05
T3	28.45	\pm	0.06	0.21
T4	29.36	\pm	0.13	0.44

Dónde: \bar{x} es el promedio muestral, *s* es la desviación estándar muestral y CV el coeficiente de variación.

Tabla 2. Contenido de proteínas en los microencapsulados.

En la Figura 1.a, se observa la superficie de respuesta para el contenido de proteína entre 15 y 30 %, observándose los valores más altos en el tratamiento T4 (160 °C y 10 % de núcleo). En la Figura 1.b, se observa el efecto de las variables independientes observándose que a mayor temperatura y porcentaje de núcleo mayor fue el contenido de proteína.



Donde: a) superficie de respuesta y b) efecto en el contenido de proteínas.

Figura 1. Superficie de respuesta y efecto en el contenido de proteínas.

3.2.2 Humedad

En la Tabla 3, se muestra el porcentaje de humedad en los cuatro tratamientos los cuales estuvieron entre 1.58 y 4.71 %, siendo el tratamiento T4 el que menor contenido de humedad obtuvo. Los resultados de humedad fueron similares a lo reportado por Rocha et al., (2009), en su investigación sobre microcápsulas de hidrolizado de caseína mediante secado por aspersión utilizando maltodextrina como material de pared, los valores reportados por los mencionados autores estuvieron entre 3.27 y 3.6 %.

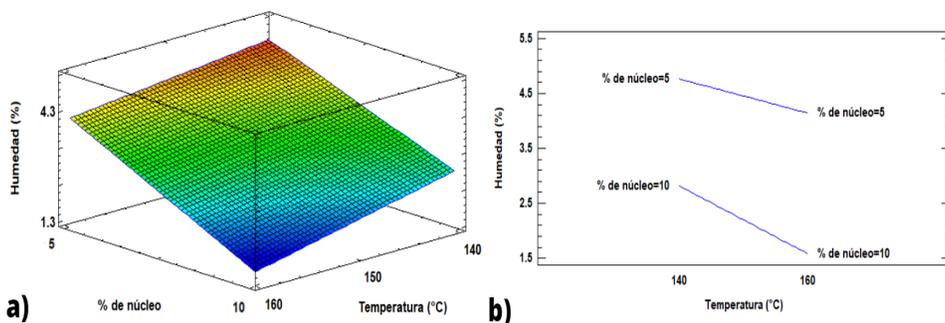
Palamutoğlu y Sariçoban (2019), en su investigación sobre microencapsulados de colágeno hidrolizado de escamas de pescado con maltodextrina, reportaron valores de humedad de entre 6.19 y 6.35 %, los cuales fueron mayores a los reportados en el presente estudio, la diferencia podría ser atribuida a la utilización de una mezcla maltodextrina-goma te tara.

Tratamientos	Humedad (%)			
	\bar{x}	\pm	s	CV (%)
T1	4.71	\pm	0.06	1.27%
T2	4.14	\pm	0.07	1.69%
T3	2.81	\pm	0.15	5.34%
T4	1.58	\pm	0.1	6.33%

Dónde: \bar{x} es el promedio muestral, s es la desviación estándar muestral y CV el coeficiente de variación.

Tabla 3. Contenido de humedad.

En la Figura 2.a se observa la superficie de respuesta de la humedad que varió entre 1.3 y 5.3 %. En la Figura 2.b se observa que a mayor temperatura y mayor porcentaje de núcleo el contenido de humedad fue menor, por el contrario, a menor temperatura y menor porcentaje de núcleo la humedad se incrementó.



Donde: a) superficie de respuesta y b) Interacción para el contenido de humedad.

Figura 2. Superficie de respuesta e interacción para la humedad.

3.2.3 Actividad de agua (A_w)

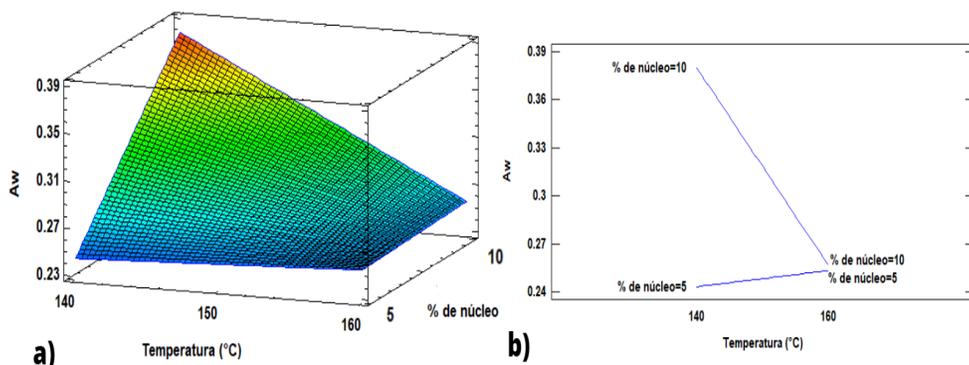
En la Tabla 4 se muestran los resultados de A_w entre 0.243 y 0.379, siendo el tratamiento T2 el que presentó menor A_w . Palamutoğlu y Sariçoban, (2016) reportaron resultados mayores de A_w entre 0.920 y 0.927 para microcápsulas de colágeno hidrolizado de escamas de pescado en maltodextrina. Por otro lado Ligarda et al., (2022), en su investigación sobre microencapsulación de eritrocitos reportó valores de A_w entre 0.35 y 0.40, los mencionados valores son típicos a los procesos de secado por aspersión.

Tratamientos	A_w			
	\bar{x}	\pm	s	CV (%)
T1	0.254	\pm	0.002	0.79%
T2	0.243	\pm	0.01	4.12%
T3	0.379	\pm	0.01	2.64%
T4	0.257	\pm	0.005	1.95%

Dónde: \bar{x} es el promedio muestral, s es la desviación estándar muestral y CV el coeficiente de variación

Tabla 4. Actividad de agua.

En la Figura 3.a se muestra la superficie de respuesta para la A_w entre 0.23 y 0.39, observándose que el tratamiento T3 fue el que reportó un valor mayor debido a un contenido mayor de proteína y menor temperatura de entrada. En la Figura 3.b se observa que a menor temperatura y menor porcentaje de núcleo la A_w fue menor, por el contrario, a mayor temperatura y mayor porcentaje de núcleo la actividad de agua se incrementó.



Donde: a) superficie de respuesta y b) efecto sobre la actividad de agua.

Figura 3. Superficie de respuesta y efecto para la actividad de agua

3.2.4 Densidad aparente

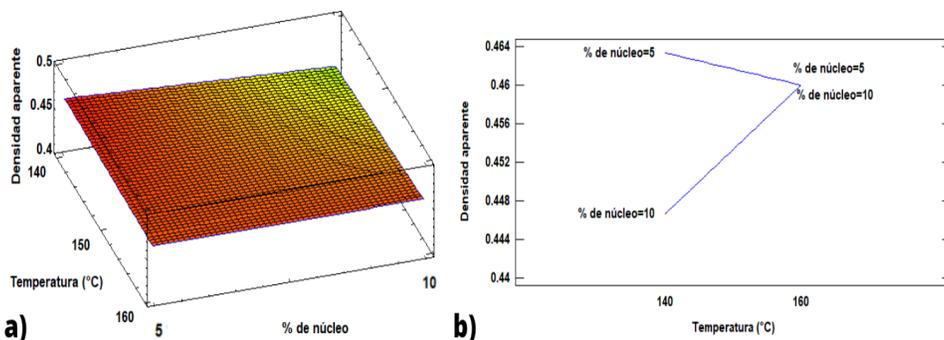
En la Tabla 5 se muestra los valores de densidad aparente entre 0.45 y 0.46, la variación mínima sería atribuible al hecho de que se trabajó con una cantidad constante de encapsulante, ya que se conoce que la proporción de este tiene un efecto en la densidad aparente.

Tratamientos	Densidad aparente			
	\bar{x}	\pm	s	CV (%)
T1	0.46	\pm	0.02	4.35%
T2	0.46	\pm	0.03	6.52%
T3	0.45	\pm	0.04	8.89%
T4	0.46	\pm	0.03	6.52%

Dónde: \bar{x} es el promedio muestral, s es la desviación estándar muestral y CV el coeficiente de variación.

Tabla 5. Resultado de densidad aparente.

En la Figura 4.a se muestra la superficie de respuesta para la densidad aparente, en ella se observa que no existe una diferencia notoria entre los tratamientos. Sin embargo, en la Figura 4.b se observa que a mayor temperatura y mayor porcentaje de núcleo la densidad aparente se incrementa parcialmente.



Donde: a) superficie de respuesta y b) interacción para la densidad aparente.

Figura 4. Superficie de respuesta e interacción para Densidad aparente.

3.2.5 Higroscopicidad

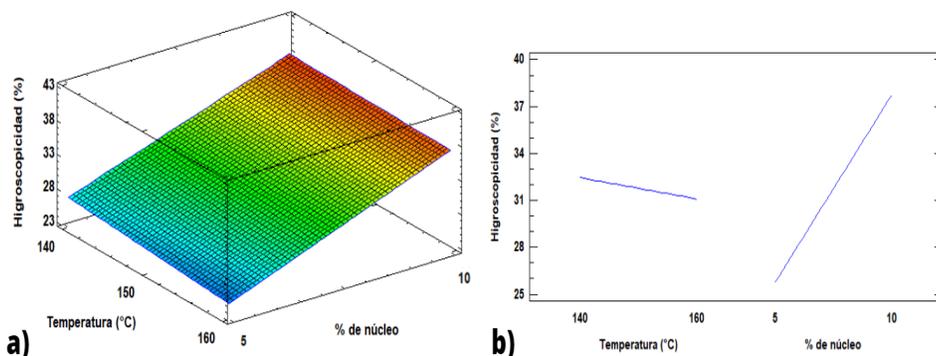
En la Tabla 6 se muestran los resultados para la higroscopicidad entre 24.7 y 38.1 %. Al respecto Palamutoğlu y Sariçoban (2019), en su investigación sobre microencapsulados de colágeno reportaron valores inferiores entre 9.86 a 10.73 %. Por otro lado, Ligarda et al., (2022) reportaron valores similares de entre 22.05 a 32.94 % en microencapsulados de eritrocitos.

Tratamiento	Higroscopicidad (%)			
	\bar{x}	\pm	s	CV (%)
T1	26.8	\pm	2.2	8.21%
T2	24.7	\pm	1.9	7.69%
T3	38.1	\pm	0.3	0.79%
T4	37.5	\pm	1.4	3.73%

Dónde: \bar{x} es el promedio muestral, s es la desviación estándar muestral y CV el coeficiente de variación.

Tabla 6. Resultados de la higroscopicidad.

En la Figura 5.a se observa la superficie de respuesta para la higroscopicidad entre 23 y 44 %, siendo el tratamiento más higroscópico el tratamiento T3, así mismo se muestra el Figura 5.b que a mayor temperatura y porcentaje de núcleo mayor fue la higroscopicidad.



Donde: a) superficie de respuesta y b) efecto en la higroscopicidad.

Figura 5. Superficie de respuesta y efecto en la higroscopicidad.

3.2.6 Tamaño de partícula

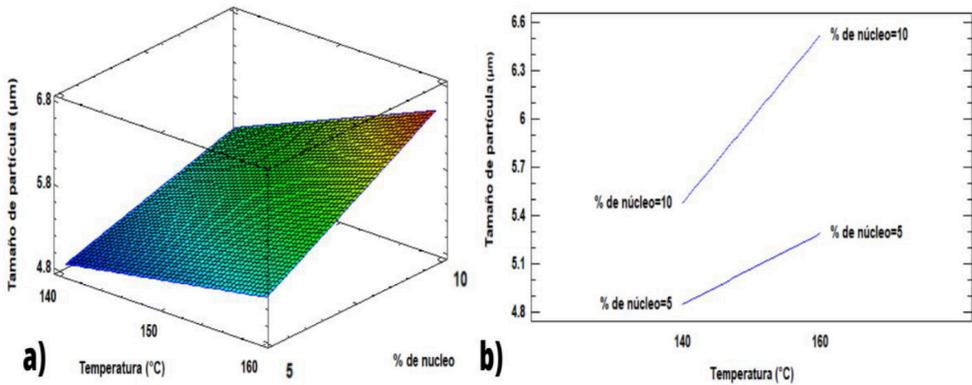
En la Tabla 7 se muestra los resultados del tamaño de partícula entre 4.85 y 6.52 μm . Fabela et al., (2016), en su estudio de microencapsulación de oleorresina de cúrcuma a partir de una emulsión de aceite en agua mediante secado por aspersión, reportó valores de tamaño de partícula entre 2.5 a 22 μm , rango típico en este proceso de secado. Por lo que los valores reportados en el presente estudio están dentro del rango del equipo Mini Spray Dryer que se utilizó.

Tratamiento	Tamaño de partícula (μm)			
	\bar{x}	\pm	s	CV (%)
T1	4.85	\pm	0.03	0.62%
T2	5.29	\pm	0.02	0.38%
T3	5.48	\pm	0.03	0.55%
T4	6.52	\pm	0.04	0.61%

Dónde: \bar{x} es el promedio muestral, s es la desviación estándar muestral y CV el coeficiente de variación.

Tabla 7. Resultados de tamaño de partícula.

En la Figura 6.a se muestra la superficie de respuesta para el tamaño de partícula entre 4.8 y 6.6 μm , siendo el tratamiento T4 el que obtuvo el mayor tamaño de partícula, lo cual sería atribuido a la temperatura de entrada y la proporción mayor de encapsulante utilizado, que influyó en la viscosidad de la solución que se encapsuló y que tuvo un efecto en el tamaño mayor de la partícula. En la Figura 6.b se observa que a mayor temperatura y mayor porcentaje de núcleo es mayor el tamaño de la partícula.



Donde: a) superficie de respuesta y b) interacción para el tamaño de partícula.

Figura 6. Superficie de respuesta e interacción para el tamaño de partícula

3.2.7 Análisis SEM

Las microfotografías de las microcápsulas de colágeno porcino hidrolizado se muestran en la Figura 7. Se observaron micropartículas esféricas con hendiduras de superficie lisa, además las partículas más pequeñas se aglomeraron entorno a las de mayor tamaño, por toros lado debido a la utilización de goma de tara se observaron zonas amorfas, los resultados fueron similares a lo mencionado por Palamutoğlu & Sariçoban, (2019).

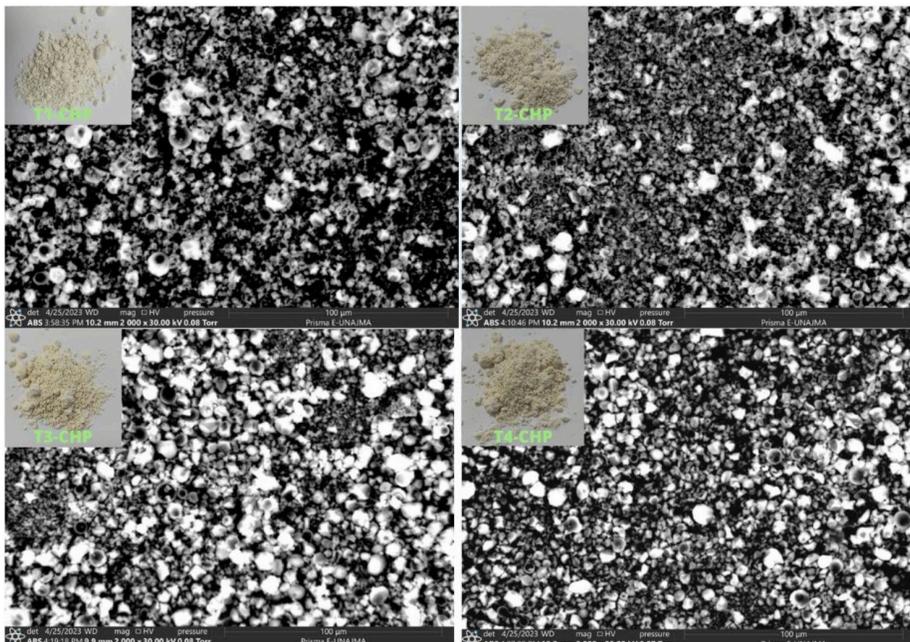


Figura 7. Microfotografías estructurales del micro encapsulado de colágeno hidrolizado de porcino.

4 | CONCLUSIONES

Se logro evaluar la influencia de la temperatura de entrada y el porcentaje de núcleo en la microencapsulación de colágeno porcino hidrolizado en matrices de maltodextrina y goma tara.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional José María Arguedas y a su Vice Presidencia de Investigación, además agradecer al Laboratorio de investigación en Nanotecnología de Alimentos.

REFERENCIAS

Adragna, C., & Jurczysyn, S. (2018). "Impresión 3D y caracterización de andamios de colágeno extraído de piel porcina para uso biomedico"

Bailey, A. J., & Light, N. D. (1989). *Connective tissue in meat and meat products*. Elsevier applied science.

Benítez, R., Ibarz, A., Pagan, J., Bioquímica, A., & Latinoamericana, C. (2008). *Química Biológica Actualización Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones Protein hydrolysates: processes and applications* Palabras clave: hidrólisis enzimática * proteínas * proteasas * caracteriza-ción * grado de hidrólisis: enzymatic hydrolysis * proteins * proteases * characterization * degree of hydrolysis. *Acta Bioquím Clín Latinoam*, 42(2), 227–263.

Garrido, P. D. I. A. E., Dirección, C., En, : M, Sergio, C., & Simental, S. (2006). "Efecto de las Proteínas de la Piel de Cerdo Sobre la Textura de Salchichas."

García Martínez, E. M., & Fernández Segovia, I. (2012). Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121.

PEPTAN. (2020). Péptidos de colágeno, Descubra el poder del colágeno de origen porcino.

INTERPORC. (2014). *Revista científica la carne de cerdo de capa blanca publicación dirigida a profesionales de la salud*.

Eraso, M. O., & Aníbal, H. (2014). Use of starches and milk proteins in microencapsulation. *International Journal of Vegetable Science*, 20(4), 289–304.

Saikia, S., Mahnot, N. K., & Mahanta, C. L. (2015). Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. *Food Chemistry*, 171, 144–152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.064>

Ligarda, S. C. A., Moscoso, M. E., Choque, Q. D., Palomino-Rincón, H., Martínez-Huamán, E. L., Huamán-Carrión, M. L., Peralta-Guevara, D. E., Aroni-Huamán, J., Arévalo-Quijano, J. C., Palomino-Rincón, W., Cruz, G. D. la, Ramos-Pacheco, B. S., Muñoz-Saenz, J. C., & Muñoz-Melgarejo, M. (2022). Microencapsulation of Erythrocytes Extracted from *Cavia porcellus* Blood in Matrices of Tara Gum and Native Potato Starch. *Foods*, 11(14). <https://doi.org/10.3390/foods11142107>

Palamutoğlu, R., & Sariçoban, C. (2016). The effect of the addition of encapsulated collagen hydrolysate on some quality characteristics of sucuk. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(6), 807–818. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.6.807>

Palamutoğlu, R., & Sariçoban, C. (2019). Physico-chemical investigation and antioxidant activity of encapsulated fish collagen hydrolyzates with maltodextrin. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI: Food Technology*, 43(1), 94–105. <https://doi.org/10.35219/foodtechnology.2019.1.07>