

## Microencapsulación de betacianina de *Opuntia ficus-indica* mediante liofilización y efecto en estabilidad y actividad antioxidante

Microencapsulation of Opuntia Ficus-indica Betacyanin by Lyophilization and Effect on Stability and Antioxidant Activity

Jorge Paul Pimentel Frisancho<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3811-7445>

Félix José Sueros Velarde<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6908-8691>

Paulino Zegarra Panca<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8339-0280>

Lilia Mary Miranda Ramos<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4968-6643>

Pavel Sarmiento Delgado<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9328-545X>

Hugo Guillermo Jiménez Pacheco<sup>2\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9334-6585>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

<sup>2</sup>Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú.

\*Autor para la correspondencia: [hjimenez@ucsm.edu.pe](mailto:hjimenez@ucsm.edu.pe)

### RESUMEN

**Introducción:** La betacianina es un pigmento natural que tiene beneficios para la salud por sus actividades antioxidantes, anticancerígenas, antipiréticas y antibacterianas.

**Objetivo:** Evaluar la estabilidad y capacidad antioxidante de betacianinas presentes en la pulpa de *Opuntia ficus-indica* sometidas a un proceso de microencapsulación.

**Métodos:** Se realizó el microencapsulamiento de pulpa de *Opuntia ficus-indica* mediante liofilización y como encapsulante concentraciones de goma de tara y aislado proteico de soja. Se evaluó la estabilidad por técnica de espectroscopia y capacidad antioxidante por inhibición de radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo de las betacianinas presentes en la pulpa.

**Resultados:** La goma de tara al 0,1 % p/v incrementó el tiempo de vida media de las betacianinas 1,19 veces más que una muestra sin encapsulante y el aislado de proteína de soja al 1,0 % p/v incrementó el tiempo de vida media de las betacianinas 1,10 veces. Además, se observó que la actividad antioxidante es mayor para las microcápsulas en comparación con el pigmento no encapsulado y se obtuvo un 41 % de inhibición de 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo con goma de tara al 0,1 % p/v. La microestructura externa de los encapsulados con aislado proteico de soja fue de tipo lisa, no granular y en el caso de encapsulados con goma de tara fue irregular. El análisis estadístico indicó que el tiempo de exposición y la concentración del material de pared tiene un efecto significativo en la concentración de betacianina.

**Conclusiones:** La técnica de microencapsulado de betacianina mediante liofilización con goma de tara y aislado proteico de soja tiene un efecto positivo en las propiedades de dicho pigmento y podría utilizarse en la industria alimentaria y farmacéutica.

**Palabras clave:** goma de tara, aislado proteico de soja, betacianina, estabilidad, capacidad antioxidante.

## ABSTRACT

**Introduction:** Betacyanin is a natural pigment offering health benefits due to its antioxidant, anticancer, antipyretic and antibacterial activities.

**Objective:** To evaluate the stability and antioxidant capacity of betacyanins present in *Opuntia ficus-indica* pulp subjected to a microencapsulation process.

**Methods:** Microencapsulation of *Opuntia ficus-indica* pulp was performed by freeze-drying and encapsulation with concentrations of tara gum and soy protein isolate. The stability by spectroscopy technique and antioxidant capacity by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl free radical inhibition of the betacyanins present in the pulp were evaluated.

**Results:** Tara gum at 0.1 % w/v increased the half-life of betacyanins 1.19 times more than a sample without encapsulant and soy protein isolate at 1.0 % w/v increased the half-life of betacyanins 1.10 times. Furthermore, the antioxidant activity was observed to be higher for the microcapsules compared to the unencapsulated pigment and 41

% inhibition of 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl was obtained with 0.1 % w/v tara gum. The external microstructure of the encapsulated soy protein isolate was smooth, not granular, and in the case of encapsulated with tara gum it was irregular. Statistical analysis indicated that the exposure time and the concentration of the wall material has a significant effect on the betacyanin concentration.

**Conclusions:** The technique of betacyanin microencapsulation by freeze-drying with tara gum and soy protein isolate has a positive effect on the properties of betacyanin and could be used in the food and pharmaceutical industry.

**Keywords:** tara gum, soy protein isolate, betacyanin, stability, antioxidant capacity.

Recibido: 18/05/2022

Aceptado: 03/12/2022

## Introducción

*Opuntia ficus-indica* (OFI) o comúnmente denominada tuna es una especie de cactus que crece en zonas áridas de gran parte del planeta. OFI se cultiva como fuente de alimento incluso en lugares donde otras plantas no pueden sobrevivir debido a la falta de agua.<sup>(1)</sup> Los frutos de OFI presentan diferentes colores debido a la combinación y concentración de pigmentos como las betalaínas y carotenoides.<sup>(2)</sup>

Las betalaínas son pigmentos naturales que protegen la planta de radiación UV y patógenos; además, tienen la función de atracción óptica para los polinizadores.<sup>(3)</sup> Son compuestos hidrosolubles que se clasifican en betacianinas (rojas/púrpuras) y betaxantinas (amarillo-naranjas).<sup>(4)</sup> Estos pigmentos exhiben beneficios para la salud tales como actividades antioxidantes, anticancerígenas, antipiréticas y antibacterianas.<sup>(5)</sup> Además, las betalaínas tienen un potencial promisorio para la prevención de enfermedades cardiovasculares.<sup>(6)</sup>

La técnica de encapsulamiento cubre a una sustancia bioactiva en una pared polimérica e incrementa su estabilidad, preservando su potencial funcional y asegurando la liberación controlada de bioactivos.<sup>(7)</sup>

La microencapsulación es una tecnología que permite almacenar compuestos bioactivos, además, desacelera los procesos de degradación oxidativa y fotoquímica y mejora la biodisponibilidad de compuestos bioactivos.<sup>(8,9)</sup> Las microcápsulas contienen los bioactivos en el núcleo, el cual se encuentra rodeado por una pared que proporciona una barrera física que impide la difusión molecular y reacciones químicas.<sup>(10)</sup> Existen diferentes técnicas de microencapsulación, como el secado por pulverización, la liofilización, la extrusión y la extrusión centrífuga, entre otras.<sup>(9)</sup>

La liofilización es un método que se emplea para encapsular bioactivos sensibles al calor; además, estabiliza un bioactivo y evita interacciones no deseadas con otros compuestos.<sup>(11)</sup> El proceso de liofilización se realiza en varias etapas que estabilizan los compuestos mediante cuatro operaciones principales como la congelación, la sublimación, la desorción y eficacia de la protección o la liberación controlada que depende de la composición y la estructura del material de la pared.<sup>(12)</sup> Los materiales de pared que se emplean normalmente son la maltodextrina, goma arábica, proteínas a base de lácteos como el suero y el caseinato, entre otros.<sup>(13)</sup>

El aislado de proteína de soja (APS) se empleó como material de pared en microcápsulas por ser un material con alta estabilidad, solubilidad en agua y además por presentar propiedades emulsionantes.<sup>(14)</sup> APS es una proteína alimentaria con un gran potencial para actuar como transportadoras de bioactivos poco solubles gracias a su naturaleza hidrofóbica superficial.<sup>(15)</sup>

La goma de tara (GT) de igual forma se utilizó como un material de pared en el proceso de microencapsular sustancias activas.<sup>(16)</sup> GT es un polisacárido neutro; por lo tanto, no tiene carga electrostática positiva o negativa, de esta forma no es susceptible a atracción o repulsión con otros biopolímeros cargados eléctricamente.<sup>(17)</sup>

El estudio se propone evaluar la estabilidad y capacidad antioxidante de betacianinas presentes en la pulpa de *Opuntia ficus-indica* sometidas a un proceso de microencapsulación.

## Métodos

### Material vegetal y extracto de pigmentos

Se recolectaron frutos maduros de OFI en la zona agrícola de Sabandia, Arequipa-Perú, situado a 16°27'09.2"S 71°29'36.5"W. Los criterios para la toma de muestra fueron la madurez del fruto, color rojo homogéneo y sin rastros de deterioro. Luego, los frutos de OFI fueron lavados con agua clorada (200 ppm.) para desinfectar las cortezas, se enjuagaron con agua corriente y se secaron con papel absorbente, posteriormente se cortaron con cuchillos de acero inoxidable en trozos de tamaño variable, para ser procesados en un extractor de zumo de potencia de 600 watts (marca Oster, China) y el jugo se recolectó en frascos oscuros de 100 mL para eliminar las fibras no solubles mediante centrifugación a 6000 rpm durante 15 min.

### Microencapsulamiento

La preparación de la disolución APS al 1,0 y 2,0 % se preparó con un peso de 7,3 g y 14,6 g respectivamente, se agregó para ambos 20 mL de agua destilada a una temperatura aproximadamente de 20° C y se mantuvieron con una agitación continua por 15 min. Así mismo, se prepararon diluciones de goma de tara al 0,1 y 0,2 %, se tomaron muestras de 0,73 g y 1,46 g, respectivamente. Se agregaron pequeñas porciones de 20 mL de agua destilada a ambas preparaciones a una temperatura aproximadamente de 40° C con una agitación constante durante 45 min.

Las disoluciones fueron liofilizadas con ciclo completo de 48 horas, se inició a una temperatura de congelación de -25 °C durante 12 horas. Luego se colocaron en un liofilizador modelo Leybold a -45 °C, menos de 10 Pa para 2 y 3 días. Las muestras liofilizadas se molieron en un polvo fino con un mortero, se empacaron al vacío en bolsas de alta barrera y se almacenaron a temperatura ambiente.

## Análisis espectrofotométricos

Todos los análisis espectrofotométricos se realizaron con un fotómetro UV-Vis (Perkin-Elmer, Überlingen, Alemania) equipado con un software UV-Vis (UVWinLab V 2.85.04) y de color (Wincol V 2.05) (Perkin-Elmer Instruments, Norwalk, CT, EE. UU.).

## Cuantificación de betacianinas

El contenido de betacianinas fracción roja se determinó a través de la medición de la absorbancia a una longitud de onda de 537 nm a pH 6,1 referido a un estándar de betacianina (*Beta vulgaris*).

La concentración se calculó con el coeficiente de extinción molar del pigmento betacianina, ( $E_{1\text{cm}1\%}: 1120 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ).<sup>(18)</sup> Los resultados se expresaron en g de betacianina por cada litro de muestra, de acuerdo a la ecuación 1:<sup>(19)</sup>

$$\frac{g}{L} \text{ Betacianina} = A \times \frac{M}{E \times b} \times 1000 \quad (1)$$

Donde:

A: Absorbancia;

E: Absortividad molar;

b: longitud de la celda en cm;

M: peso molecular de betacianinas (550,48 g/mol).

La evaluación de la estabilidad química de la pulpa liofilizada sin encapsular y las cuatro muestras encapsuladas (con goma de tara y APS) se efectuó mediante determinaciones espectrales de compuestos betalaínicos presentes en la pulpa en los días 0, 10, 20, 40, 60 y 80. Las condiciones experimentales fueron: temperatura  $25,0 \pm 0,1^\circ \text{C}$  y pH 6,1. La degradación de betacianina se siguió a través de mediciones de absorbancia a 537. Se estableció orden de reacción en las cinéticas degradativas, tiempos de vida media ( $t_{1/2}$ ) y constantes de velocidad de degradación ( $k$ ).<sup>(20)</sup>

## Actividad de eliminación de radicales DPPH

La actividad eliminadora de radicales de los extractos de frutos de OFI se determinó de acuerdo con el método explicado por *Fathordoobady* y otros<sup>(21)</sup> con algunas modificaciones menores en cuanto al tiempo de incubación. Se mezcló una cantidad de alícuota de 0,1 mL de cada extracto con 3,9 mL de una solución etanólica al 80 % de 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH) 0,6 mM. La mezcla se agitó durante 20 s y se dejó reposar durante 60 min. Después se midió la absorbancia de las soluciones a 515 nm con el uso de un espectrofotómetro UV-Vis (Genesys 10S, Thermo Scientific, Florida, USA). La reacción se completó durante este tiempo ya que no hubo una diferencia significativa en el valor de absorción después de 60 min. El etanol (80 %) sirvió como prueba en blanco y la solución de DPPH (3,9 mL de DPPH + 0,1 mL de solución de etanol al 80 %) se utilizó como muestra de control. Todas las pruebas se realizaron por triplicado. La actividad antioxidante de las muestras se definió como la ecuación 2:

$$\text{Inhibición de DPPH}(\%) = \left( \frac{\text{Abs control} - \text{Abs muestra}}{\text{Abs control}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

Abs control: es la absorbancia del control (solución de DPPH sin la muestra de prueba);

Abs muestra: es la absorbancia de la muestra de prueba (solución de DPPH más 0,1 mL del compuesto de prueba).

Se tomaron muestras de cada una de las pruebas y se observó su microestructura externa a través de un microscopio de barrido marca Phillips XL, 20, USA (Centro de Microscopia Electrónica de la U.N.S.A.) y dado que las muestras no eran metálicas se fijaron con un baño de oro en un equipo de vacío marca Denton Vacuum modelo DESK. A partir de un diseño experimental multinivel factorial se determinó el efecto de los factores experimentales, tiempo de exposición (0, 20, 40, 60 y 80 días), concentración

de material encapsulante (1-2 % de APS y 0,1-0,2 % de GT) y tipo de encapsulante (APS y GT).

Los resultados (expresados como media) se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA). Las medias se compararon por pares mediante la prueba HSD (*Honestly Significant Difference*) de Tukey con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ , con el programa Statgraphics VI versión de prueba.

## Resultados

### Estabilidad de betacianina

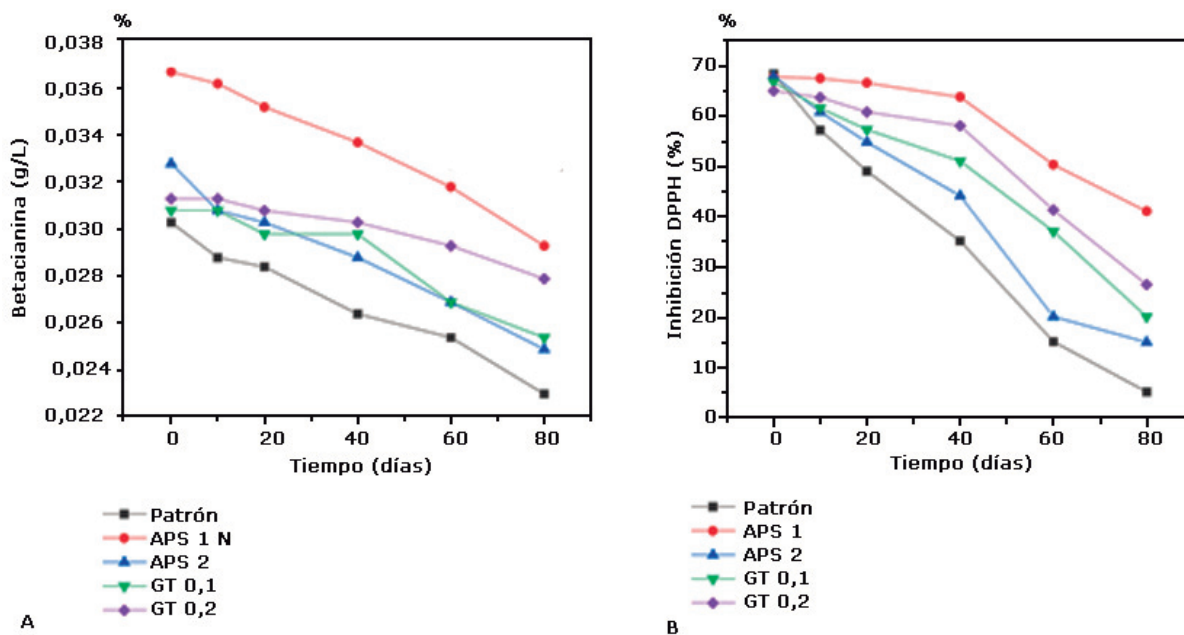
La tabla 1 se muestra los valores de vida media y velocidad de reacción de betacianina (BTC) sometidas a microencapsulamiento con APS y GT.

**Tabla 1** - Parámetros de estabilidad de betacianina

Prueba	Encapsulante y concentración	Velocidad de reacción $k$ (día <sup>-1</sup> )	Vida media $t_{1/2} = \ln 2/k$ , (días)
1	patrón	0,0032	216,6
2	APS al 1 %	0,0029	239
3	APS al 2 %	0,003	231,1
4	GT al 0,1 %	0,0027	256,7
5	GT al 0,2 %	0,0016	433,2

La figura 1A muestra que la concentración de betacianina presente en el extracto de fruto de OFI protegida de factores ambientales por microencapsulamiento. Se obtuvo que la microencapsulación con APS al 1 % y GT al 0,2 % mediante liofilización alcanzaron concentraciones máximas de BTC de 0,0293 a 0,0279 g/L respectivamente, a los 80 días.



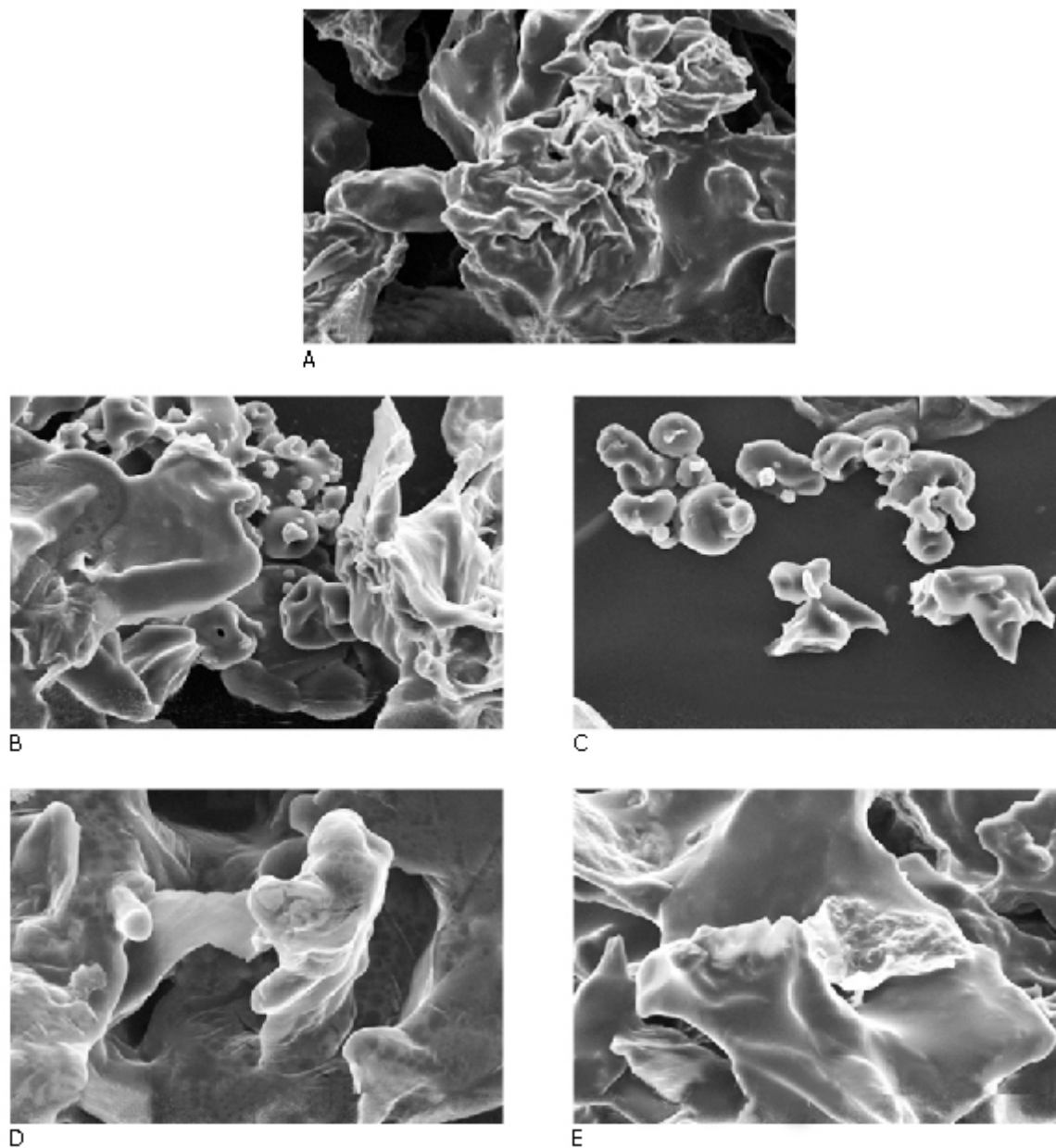


**Fig. 1** - Concentración de BTC. (A) Inhibición de DPPH de BTC; (B) de microcapsulas de APS y GT en un periodo de 80 días.

La figura 1B muestra que el porcentaje de inhibición de DPPH de betacianina presente en el extracto de fruto de OFI.

### Características morfológicas de microcápsulas de OFI con APS y GT

La figura 2 muestra las características morfológicas de la pulpa de OFI sin ser encapsulada y también encapsuladas con APS y GT.



**Fig. 2** - Microestructura de pulpa de tuna liofilizada: (A) sin encapsulante, (B) con encapsulante APS al 1,0 %, (C) con encapsulante APS al 2,0 %, (D) encapsulante goma de tara al 0,1% y (E) encapsulante goma de tara al 0,2 %.

### **Efecto de tiempo de exposición, concentración y tipo de microencapsulante en absorbancia de BTC**

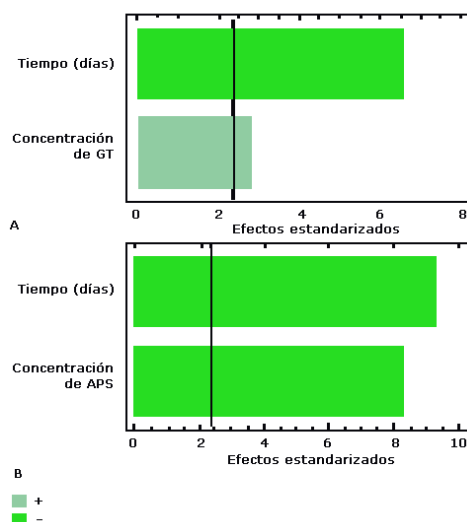
La tabla 2 muestra el análisis de varianza (ANOVA) el cual permite comparar la media de los datos para determinar si existe una igualdad entre las variables respuesta.

**Tabla 2** - ANOVA de factores experimentales relacionados a la absorbancia de BTC

Factores	GT		APS	
	Suma de cuadrados	Valor p	Suma de cuadrados	Valor p
A: Tiempo	0,0001012	0,0001	0,00023	0,0001
B: Concentración de encapsulante	0,0000196	0,0059	0,00018	0,0001
AA	0,0000060	0,0517	0,00000	0,1454
AB	0,0000060	0,0515	0,00000	0,1500
Error total	0,0000046	---	0,00000	---
Total (corr.)	0,0001376		0,00044	

Nota: AA y AB es la interacción entre los factores.

La figura 3 exhibe el diagrama de Pareto donde se muestran los valores absolutos de los efectos estandarizados de BTC microencapsulado con GT y APS. Se observa el efecto significativo positivo o negativo de las variables independientes.



**Fig. 3** - Diagrama Pareto de todos los efectos estimados de absorbancia de BTC microencapsulado con GT (A) y APS (B).

## Discusión

Con respecto al tiempo de vida media, el encapsulante que dio un mayor tiempo fue la GT utilizada al 0,2 %, luego el microencapsulamiento que se utilizó al 0,1 %, después el APS al 1,0 % y por último el APS al 2,0 %. La prueba patrón, es decir la muestra que no se sometió a encapsulamiento, tuvo una velocidad de degradación mayor en comparación a las demás muestras encapsulas, dicha velocidad llegó a ser dos veces más rápida que la muestra encapsulada con goma de tara al 0,2 %. La estabilidad de

BTC de OFI se afectaron por factores como temperatura, pH, nivel de oxígeno, luz y actividad de agua.<sup>(22)</sup>

La microencapsulación protege a bioactivos de la degradación oxidativa, pues atrapa al bioactivo (núcleo) dentro de un material de pared, para así evitar condiciones ambientales adversas y aumentar su estabilidad y vida media.<sup>(23)</sup>

En relación con el contenido de betacianina, la muestra patrón, es decir, la BTC sin microencapsular, tuvo una disminución en su concentración de 0,0303 a 0,0230g/L equivalente a un 24,09 % de degradación de BTC. Por lo contrario, la BTC microencapsulada con APS al 1 % tuvo una disminución de concentración del 20 % y GT al 0,2 % tuvo una disminución de 10,94 %, de esta forma se corroboró que la microencapsulación prolonga la estabilidad del pigmento BTC. Los resultados muestran mejores efectos en relación con la degradación de BTC en comparación con estudios realizados por *Aztatzi-Rugerio* y otros<sup>(24)</sup> quienes indican una degradación del 50 % luego de 120 min de exposición térmica a 75 °C, además el tiempo de vida es solo de 2,3 horas. Así mismo, *Li* y otros<sup>(25)</sup> indican que el encapsulamiento de BTC mediante liofilización es un método con mayor eficiencia para mejorar la estabilidad de BTC.

Respecto a la capacidad de inhibición de DPPH se obtuvo que la BTC microencapsulada al 1 % de APS tiene mayor porcentaje de inhibición de DPPH en el transcurso de 80 días. De esta manera se obtuvo un 41,1 % de inhibición. Así mismo, la BTC microencapsulada con GT al 0,2 % tuvo 26,5 % de inhibición; ambos porcentajes superan a BTC sin microencapsular que solo tiene un 5,1 % de inhibición. Esto concuerda con *Jimenez-Gonzalez* y otros<sup>(26)</sup> quienes indican que la actividad antioxidante mejora mediante microencapsulación de pigmentos.

Las muestras de BTC que se sometieron a microencapsulación presentan mayor actividad antioxidante en comparación con las que no, eso ocurre porque APS y GT al cumplir la función de material de pared protegen de la degradación, oxidación y del bioactivo.<sup>(27)</sup>

Referente a la estructura externa de una muestra de pulpa de tuna liofilizada con encapsulante APS al 1,0 %; se observa una superficie externa lisa no granular, con algunas esferas irregulares con abolladuras, pero libre de poros y

grietas. Esta estructura la observó *Castro y Rosenberg*<sup>(28,29)</sup> en microencapsulación de metilantranilato con maltodextrina utilizando secado espray.

También se observó la misma estructura externa en microcápsulas de pigmentos luteína-enocianina mediante el uso de APS como encapsulante, lo que se observó en la marcada diferencia con la muestra sin encapsulante.<sup>(30)</sup> APS al 2,0 % se observa una superficie externa lisa no granular con algunas esferas irregulares con abolladuras, pero libre de poros y grietas. Esta estructura se observó por *Sharifi y otros*<sup>(19)</sup> en microencapsulación de metilantranilato con maltodextrina utilizando secado espray.

En cuanto a la absorbancia de BTC en relación con los factores experimentales se evidencia que tanto el tiempo de exposición y la concentración de microencapsulante tienen un efecto significativo en la absorbancia de BTC tanto para GT como para APS, ya que muestran un valor *p* menor que 0,05 a un nivel de confianza del 95,0 %. Además, los diagramas de Pareto muestran todos los efectos estimados para la absorbancia de BTC. Con respecto a GT se observa que el tiempo y concentración tienen un efecto significativo en la absorbancia de BTC; sin embargo, solo la concentración de GT tuvo un efecto positivo. Por otro lado, en relación con el encapsulante APS se observa que el tiempo y concentración del encapsulante tienen un efecto negativo en la absorbancia de BTC.

De manera concluyente, las microcápsulas de BTC se prepararon con éxito a través del método de liofilización con materiales de pared como APS y GT. Las microcápsulas mostraron una buena estabilidad del producto en comparación con la BTC no encapsulada. La goma de tara que se utilizó como encapsulante al 0,1 % p/v incrementó el tiempo de vida media de las betacianinas 1,19 veces más que una muestra sin encapsulante y APS que se usó como encapsulante al 1,0 % p/v incrementó el tiempo de vida media de las betacianinas 1,10 veces. La actividad antioxidante es mayor para las microcápsulas en comparación con el pigmento no encapsulado.

De acuerdo con los resultados, se sugiere APS y GT como un buen agente microencapsulante para BTC, lo que deriva en una buena actividad antioxidante y una mejor eficiencia de encapsulación, y los datos obtenidos podrían ser útiles para escalar el proceso. Este estudio sería útil para promover la aplicación de BTC, lo que

muestra un notable potencial para la industria alimentaria y farmacéutica debido a su bajo coste. Sin embargo, se recomiendan realizar más estudios e investigaciones durante un período de tiempo más largo y continuo para que los resultados sean confiables y concluyentes.

## Referencias bibliográficas

1. Sirotkin A. Can nopal cactus (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) treat obesity? *Obes Med.* 2022 [acceso 01/02/2022];30:100390. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451847622000021>
2. De Wit M, Du Toit A, Osthoff G and Hugo A. Antioxidant Content, Capacity and Retention in Fresh and Processed Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*) Fruit Peels From Different Fruit-Colored Cultivars. *Frontiers in Sustainable Food Systems.* 2020;4:133. DOI: [10.3389/fsufs.2020.00133](https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00133)
3. González HA, Martínez MC, Tepper PG, Quax WJ, Buist M, Faber KN, *et al.* Betacyanins, major components in *Opuntia* red-purple fruits, protect against acetaminophen-induced acute liver failure. *Food Res Int.* 2020 [acceso 01/02/2022];137:109461. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996920304865>
4. Betancourt C, Cejudo MJ, Heredia FJ, Hurtado N. Pigment composition and antioxidant capacity of betacyanins and betaxanthins fractions of *Opuntia dillenii* (Ker Gawl) Haw cactus fruit. *Food Res.* 2017 [acceso 02/02/2022];101:173-9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996917305641>
5. Otálora MC, de Jesús Barbosa H, Perilla JE, Osorio C, Nazareno MA. Encapsulated betalains (*Opuntia ficus-indica*) as natural colorants. Case study: Gummy candies. *LWT.* 2019 [acceso 10/02/2022];103:222-7. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818311411>
6. Schneider-Teixeira A, Molina AD, Alvarez I, Dello M, Deladino L. Application of betacyanins pigments from *Alternanthera brasiliana* as yogurt colorant. *LWT.* 2022 [acceso 10/02/2022];159:113237. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643822001724>

7. Marques C, da Silva Pena R, Campos R. Encapsulation of bioactive compounds extracted from plants of genus Hibiscus: A review of selected techniques and applications. *Food Res.* 2022 [acceso 20/02/2022];151:110820. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996921007201>
8. Neuenfeldt NH, de Moraes DP, de Deus C, Barcia MT, de Menezes CR. Blueberry Phenolic Composition and Improved Stability by Microencapsulation. *Food Bioprocess Technol.* 2022 [acceso 20/02/2022];15(4):750-67. DOI: 10.1007/s11947-021-02749-1.
9. Guo J, Li P, Kong L, Xu B. Microencapsulation of curcumin by spray drying and freeze drying. *Lwt.* 2020 [acceso 20/02/2022];132:109892. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820308811>
10. Taguchi Y, Saito N, Uchida A, Tanaka M. Preparation of Thermosensitive Microcapsules Containing Water Soluble Powder by Melting Dispersion Cooling Method. *J Encapsulation Adsorpt Sci.* 2016 [acceso 20/02/2022];06(03):57-69. DOI: 4236/jeas.2016.63006.
11. Xin X, Essien S, Dell K, Woo MW, Baroutian S. Effects of Spray-Drying and Freeze-Drying on Bioactive and Volatile Compounds of Smoke Powder Food Flavouring. *Food Bioprocess Technol.* 2022;15(4):785-94. DOI: [10.1007/s11947-022-02779-3](https://doi.org/10.1007/s11947-022-02779-3)
12. Ezhilarasi PN, Indrani D, Jena BS, Anandharamakrishnan C. Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. *J Food Eng.* 2013 [acceso 25/02/2022];117(4):513-20. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877413000228>
13. Aksoylu Özbek Z, Günç Ergönül P. Optimisation of wall material composition of freeze-dried pumpkin seed oil microcapsules: Interaction effects of whey protein, maltodextrin, and gum Arabic by D-optimal mixture design approach. *Food Hydrocoll.* 2020 [acceso 25/02/2022]; 107:105909. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X19319277>
14. Lin D, Xiao L, Li S, Qin W, Loy DA, Chen H, et al. Effects of fructooligosaccharide and soybean protein isolate in the microencapsulation of walnut oil. *Ind Crops Prod.* 2022 [acceso 25/02/2022];177:114431. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669021011961>

15. Chen F-P, Liu L-L, Tang C-H. Spray-drying microencapsulation of curcumin nanocomplexes with soy protein isolate: Encapsulation, water dispersion, bioaccessibility and bioactivities of curcumin. *Food Hydrocoll.* 2020 [acceso 01/03/2022];105:105821. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X19327146>
16. Barreto M, Wanderlei C, Garcia EE. Microencapsulation of vitamin D3 by complex coacervation using carboxymethyl tara gum (*Caesalpinia spinosa*) and gelatin A. *Food Chem.* 2021 [acceso 01/03/2022];343:128529. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814620323918>
17. Toledo BS, Garcia EE. Double emulsions as delivery systems for iron: Stability kinetics and improved bioaccessibility in infants and adults. *Curr Res Food Sci.* 2022 [acceso 01/03/2022];5:718-25. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665927122000612>
18. Arboleda JA, Yáñez J. Clarification Processes of Orange Prickly Pear Juice (*Opuntia* spp.) by Microfiltration. *Membranes.* 2021;11(5):354. DOI: <https://doi.org/10.3390/membranes11050354>
19. Sharifi S, Rezazad M, Alizadeh M, Almasi H, Amiri S. Use of whey protein isolate and gum Arabic for the co-encapsulation of probiotic *Lactobacillus plantarum* and phytosterols by complex coacervation: Enhanced viability of probiotic in Iranian white cheese. *Food Hydrocoll.* 2021 [acceso 03/03/2022];113:106496. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X20328708>
20. Borges A de, Horrana N, de Lima TM de, Vieira R, Oliveira JG de, Sousa D, *et al.* Pigment bioproduction by *Monascus purpureus* using corn bran, a byproduct of the corn industry. *Biocatal Agric Biotechnol.* 2021 [acceso 03/03/2022];32:101931. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187881812100027X>
21. Fathordoobady F, Jarzębski M, Pratap A, Guo Y, Abd Y. Encapsulation of betacyanins from the peel of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* L.) in alginate microbeads. *Food Hydrocoll.* 2021 [acceso 03/03/2022];113:106535. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X2032909X>
22. Bassama J, Tamba A, Ndong M, Sarr KD, Cissé M. Degradation Kinetics of Betacyanins during the Pasteurization and Storage of Cactus Pear (*Opuntia dillenii*



- Haw.) Juice Using the Arrhenius, Eyring, and Ball Models. *Beverages*. 2021 [acceso 06/03/2022];7(1). DOI: [3390/beverages7010002](https://doi.org/10.1007/s11947-021-02594-2)
23. Da Silva B, Wenderlei P, Garcia EE. Microencapsulation of Sacha Inchi Oil by Complex Coacervates using Ovalbumin-Tannic Acid and Pectin as Wall Materials. *Food Bioprocess Technol*. 2021 [acceso 06/03/2022];14(5):817-30. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02594-2>
24. Aztatzi L, Granados SY, Zainos Y, Ocaranza E, Rojas M. Analysis of the degradation of betanin obtained from beetroot using Fourier transform infrared spectroscopy. *J Food Sci Technol*. 2019 [acceso 06/03/2022];56(8):3677-86. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31413395>
25. Li X, Zhang Z, Qiao J, Qu W, Wang M, Gao X, *et al*. Improvement of betalains stability extracted from red dragon fruit peel by ultrasound-assisted microencapsulation with maltodextrin. *Ultrason Sonochem*. 2022 [acceso 10/03/2022];82:105897. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417721004399>
26. Jimenez O, Luna JJ, Ramírez MM, Luna D, Luna ML. Microencapsulation of *Renealmia alpinia* (Rottb.) Maas pulp pigment and antioxidant compounds by spray-drying and its incorporation in yogurt. *J Food Sci Technol*. 2022 [acceso 15/03/2022];59(3):1162-72. DOI: [10.1007/s13197-021-05121-5](https://doi.org/10.1007/s13197-021-05121-5)
27. Furuta T, Neoh TL. Microencapsulation of food bioactive components by spray drying: A review. *Dry Technol*. 2021;39(12):1800-31. DOI: [10.1080/07373937.2020.1862181](https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1862181)
28. Castro-Muñoz R, Barragán-Huerta BE, Yáñez-Fernández J. Use of gelatin-maltodextrin composite as an encapsulation support for clarified juice from purple cactus pear (*Opuntia stricta*). *LWT-Food Sci Technol*. 2015 [acceso 17/03/2022];62(1):242-8. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643814005982>
29. Rosenberg M, Kopelman IJ, TALMON Y. A scanning electron microscopy study of microencapsulation. *J Food Sci*. 1985 [acceso 15/03/2022];50(1):13944. Disponible en: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13295.x>
30. Otálora MC, Carriazo JG, Iturriaga L, Nazareno MA, Osorio C. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. *Food Chem*.

2015 [acceso 15/03/2022];187:174-81. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814615006366>

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

### Contribuciones de los autores

*Conceptualización:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Pavel Sarmiento Delgado, Félix José Sueros Velarde.

*Curación de datos:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Félix José Sueros Velarde, Lilia Mary Miranda Ramos.

*Análisis formal:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Paulino Zegarra Panca.

*Adquisición de fondos:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Lilia Mary Miranda Ramos.

*Investigación:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco Paulino Zegarra Panca.

*Metodología:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Lilia Mary Miranda Ramos.

*Administración de proyecto:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Lilia Mary Miranda Ramos.

*Software:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Lilia Mary Miranda Ramos.

*Validación:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Pavel Sarmiento Delgado.

*Visualización:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Pavel Sarmiento Delgado, Paulino Zegarra Panca.

*Redacción - borrador original:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Félix José Sueros Velarde, Paulino Zegarra Panca.

*Redacción – revisión y edición:* Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, Jorge Paul Pimentel Frisancho, Pavel Sarmiento Delgado, Félix José Sueros Velarde, Lilia Mary Miranda Ramos, Paulino Zegarra Panca.