

EVALUACIÓN DE LA MICROENCAPSULACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EXTRAÍDOS DE CORONTA DE MAÍZ MORADO (*Zea mays L.*) EN MATRICES DE MALTODEXTRINA Y GOMA DE TARA

Data de submissão: 08/12/2023

Data de aceite: 01/02/2024

Isaías Ramos Quispe

Universidad Nacional José María
Arguedas
Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0003-1700-1475>

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>

Henry Palomino-Rincón

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

Betsy Suri Ramos-Pacheco

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

Dianeth Buleje Campos

Universidad Nacional José María
Arguedas
Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0002-3060-6076>

RESUMEN: La coronta del maíz morado es un subproducto agroindustrial rico en antocianinas, fenoles, flavonoides y compuestos antioxidantes. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la microencapsulación de compuestos bioactivos extraídos de corontas de maíz morado (*Zea mays L.*), utilizando matrices de maltodextrina y goma de tara. Para lo cual, se recolectaron maíces morados de la provincia de Andahuaylas y se seleccionaron las corontas. Luego, estas

corontas fueron molidas, a partir del material molido se realizó una extracción por maceración seguida de la sonicación para obtener los extractos con los compuestos bioactivos de interés. Finalmente, estos extractos fueron microencapsulados por secado por aspersión empleando distintas concentraciones de los agentes encapsulantes mencionados. Los compuestos bioactivos microencapsulados presentaron compuestos fenólicos totales entre 10.06 a 10.63 mg AGE/g; flavonoides totales de 1.26 a 1.60 mg quercetina/g; antocianinas totales de 0.20 hasta 0.30 mg/100g; capacidad antioxidante de 249.40 a 356.76 μmol Trolox equivalente/g. La temperatura de encapsulación influyó en las propiedades del color. La humedad de los microencapsulados varió entre 7.19 a 8.17%, la higroscopicidad de 7.47 a 8.09%, la solubilidad entre 78.35 a 87.37 %, y la actividad de agua registró valores de 0.29 a 0.32. Se concluye que el tratamiento T2 presentó propiedades físicas apropiadas y óptimas en comparación con los demás tratamientos, a la vez que contiene los mayores niveles de compuestos bioactivos entre todos los microencapsulados obtenidos.

PALABRAS CLAVE: microencapsulación, fenoles, flavonoides, antocianinas, capacidad antioxidante

ABSTRACT: The crown of purple corn is an agroindustrial byproduct rich in anthocyanins, phenols, flavonoids, and antioxidant compounds. The present study aimed to evaluate the microencapsulation of bioactive compounds extracted from purple corn (*Zea mays* L.) crowns using maltodextrin and tara gum matrices. For this purpose, purple corn was collected from the province of Andahuaylas, and the crowns were selected. Then, these crowns were ground, and from the ground material, extraction was carried out by maceration followed by sonication to obtain the extracts with the bioactive compounds of interest. Finally, these extracts were microencapsulated by spray drying using different concentrations of the aforementioned encapsulating agents. The microencapsulated bioactive compounds presented total phenolic compounds between 10.06 to 10.63 mg AGE/g; total flavonoids from 1.26 to 1.60 mg quercetin/g; total anthocyanins from 0.20 to 0.30 mg/100g; antioxidant capacity from 249.40 to 356.76 μmol Trolox equivalent/g. The encapsulation temperature influenced the color properties. The humidity of the microencapsulates varied between 7.19 to 8.17%, the hygroscopicity from 7.47 to 8.09%, the solubility between 78.35 to 87.37%, and the water activity recorded values of 0.29 to 0.32. It is concluded that treatment T2 presented appropriate and optimal physical properties compared to the other treatments while containing the highest levels of bioactive compounds among all the microencapsulates obtained.

KEYWORDS: microencapsulation, phenols, flavonoids, anthocyanins, antioxidant capacity

1 | INTRODUCCIÓN

En el Perú, durante miles de años se ha cultivado el maíz morado, que es una de las fuentes más ricas de compuestos bioactivos. El maíz morado es el ingrediente de los famosos postres peruanos, como la mazamorra morada y la chicha morada. Este alimento ha sido utilizado desde tiempos preincaicos y ha sido representado en diferentes objetos de cerámica de la cultura Moche, que datan de hace más de 2500 años.

El principio del colorante del maíz morado se basa en la presencia de la antocianina, un metabolito que se ha demostrado se encuentra en mayor proporción en la coronta del

maíz y en menores cantidades en la cáscara de los granos. Hoy en día, surge la necesidad de poder realizar el estudio de los compuestos bioactivos presentes en diversas fuentes alimentarias y su importancia en la salud humana (Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos - INTA). Se realizó la evaluación de la microencapsulación de compuestos bioactivos extraídos a partir de la coronta del maíz morado (*Zea mays L.*), estudiándose la humedad, actividad de agua, higroscopicidad, color, solubilidad, así como también el contenido de antocianinas, fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante.

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Extracción de compuestos bioactivos de la coronta de maíz morado y microencapsulación

La microencapsulación de compuestos bioactivos de la coronta de maíz morado se llevó a cabo de acuerdo con la metodología propuesta por Riera (2020). Después de obtener el extracto, este se concentró en una estufa al vacío a una temperatura de 20 °C y una presión de 10 mbar, donde la circulación de agua permaneció constante y conectada al vacío. Una vez alcanzada la cantidad deseada de concentrado, se procedió a medir el volumen y posteriormente se almacenó en refrigeración a 4 °C en frascos de vidrio ámbar.

Para la microencapsulación, se empleó una mezcla de maltodextrina y goma de tara, con un total de 4 tratamientos. En los tratamientos T1 y T2, se utilizó un 6 % de encapsulante, mientras que en los tratamientos T3 y T4, fue del 10 %. El proceso se llevó a cabo en un Mini Spray Dryer B-290 (BÜCHI Labortechnik AG, Flawil, Suiza) alimentando el equipo con las soluciones previamente preparadas. Para garantizar la microencapsulación de los compuestos bioactivos, se verificó la presión del equipo y la temperatura de entrada para cada tratamiento: T1 (120 °C), T2 (150 °C), T3 (120 °C) y T4 (150 °C); además, se controló el flujo de aire. Todos los parámetros fueron rigurosamente controlados antes de proceder con el secado. Una vez obtenidos los microencapsulados se almacenaron hasta su posterior análisis.

2.1.1 Color

Se tomó 1g de los encapsulados luego colocó en pequeñas placas transparentes y se puso en el fotodetector del colorímetro modelo CR-5 (Konica Minolta, Tokio, Japón), previamente calibrado, y seguidamente se realizó las lecturas correspondientes para cada tratamiento finalmente se anotó los valores reportados; donde los parámetros de color fueron, L (luminosidad) (desde 0 negro a 100 blanco), croma a* (rojo+, verde-) y croma b* (azul-, amarillo+).

2.1.2 Humedad

Se pesó 0.2 g de los microencapsulados para cada tratamiento, luego se colocaron en una luna de reloj a 105 °C en una estufa de convección forzada FED 115 (BINDER, Tuttlingen, Alemania), hasta alcanzar peso constante. La humedad de los microencapsulados se determinó por secado y diferencia de peso de acuerdo al método 934.06 de la AOAC.

$$\%H_{BS} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \dots \dots \dots 01$$

$\%H_{BS}$ = Porcentaje de humedad en base húmeda; m_1 = masa inicial; m_2 = masa final.

2.1.3 Higroscopicidad

Se pesó 0.2 g de los microencapsulados para cada tratamiento, luego se colocaron en placas Petri a 22 °C, que se introdujeron en una cámara que contenía una solución saturada de NaCl (75.4 % de humedad relativa). Después de 7 días se pesaron las muestras. Finalmente se expresaron los resultados como gramos de humedad por 100 g de sólidos secos (g /100 g) (Cai y Corke, 2000; Ersus y Yurdagel, 2007).

$$\text{Higroscopicidad} = \frac{\text{Peso saturado} - \text{peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100 \dots \dots \dots 02$$

2.1.4 Solubilidad

Para la solubilidad a 40 mL de agua ultra pura se añadió 0.2 g de polvo, después se agitó con la ayuda de un vortex hasta solubilizar toda la muestra, para posteriormente ser centrifugada a 3000 rpm durante 10 min.

Después se tomó el sobrenadante y se pesó en placas de Petri, finalmente se realizó el secado de la muestra en una estufa FED 115 (BINDER, Tuttlingen, Alemania) a 105 °C por 5 h. La solubilidad (%) fue calculada por diferencia de peso. (Ochoa et al., 2011)

2.1.5 Actividad de agua (A_w)

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

2.1.6 Preparación de extracto metanólico

Los extractos metanólicos se prepararon con 0.5 g de la muestra y 20 mL de metanol al 80 %, se protegieron en la oscuridad y se mantuvieron a temperatura ambiente durante 24 h.

2.1.7 Determinación de polifenoles totales

Se realizó una mezcla con un volumen de 900 μ L del extracto metanólico y 150 μ L

de Na_2CO_3 al 20% con 300 μL del reactivo Folin-Ciocalteu 0.25 N.

Posteriormente se dejó reaccionar durante 10 min en condiciones de oscuridad a una temperatura ambiente. De la misma manera se preparó un blanco con las mismas condiciones utilizando agua ultra pura en lugar del extracto.

Las lecturas de absorbancia se tomaron a 755 nm (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.) y los resultados se expresaron como mg de ácido gálico equivalente (GAE)/g de muestra seca.

2.1.8 Flavonoides Totales

Se dejó reaccionar durante 10 minutos, 90 μL del extracto metanólico, 1910 μL de metanol al 80%, 100 μL de AlCl_3 al 5% y 2900 μL de metanol al 80%. Se utilizó quercetina para la curva de calibración. Las lecturas se realizaron a una longitud de onda de 425 nm en un espectrofotómetro (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.).

2.1.9 Antocianinas totales

Se utilizó el método de pH diferencial de Giusti y Wrolstad, para lo cual se prepararon extractos etanólicos empleando 20 mL del solvente para poder realizar la extracción a concentraciones (95% etanol y 1% HCl) y 0.5 g de la muestra, dejándola reaccionar por 24 h, posterior a eso se realizaron las lecturas correspondientes en un espectrofotómetro (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.).

2.1.10 Capacidad antioxidante mediante técnica DPPH.

Se preparó la solución madre de DPPH disolviendo 12 mg de DPPH en 50 ml de metanol al 80%. Esta solución se almacenó en un frasco ámbar a 20 °C por un tiempo de 24 horas. Se dejó temperar la solución madre hasta alcanzar la temperatura ambiente y se preparó la solución diluida de DPPH hasta alcanzar una absorbancia de 1.1 0.02 a una longitud de onda 515 nm. Con una micro pipeta se tomó 150 μL de extracto de la muestra y se le adicionó 2850 μL de la solución madre de DPPH diluida en un tubo de ensayo protegido de la luz en este caso el blanco se utilizó metanol al 80% y se dejó reaccionar durante 15 minutos. Se utilizó trolox para la curva de calibración. Las lecturas de absorbancia se realizaron a una longitud de onda de 515 nm en un espectrofotómetro (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.).

3 | RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Compuestos bioactivos

3.1.1 Fenoles y flavonoides totales

Los resultados de compuestos fenólicos (Tabla 1) presentaron diferentes valores debido al efecto ocasionado por la temperatura de entrada y la concentración del encapsulante en los microencapsulados. Los valores de fenoles totales en cada tratamiento estuvieron entre 10.63 mg AGE/g de muestra (T1) y 10.35 mg AGE/g de muestra (T4). Los tratamientos T1 y T2 presentaron los mayores contenidos de fenoles totales. Mientras que los valores de los flavonoides totales en cada tratamiento estuvieron entre 1.26 a 1.59 mg de quercetina/g de muestra (b.s). Los tratamientos T1 y T2 presentaron los mayores contenidos de flavonoides totales. En resumen, bajo ciertas condiciones de temperatura y concentración de encapsulante se obtuvieron diferencias significativas en el contenido de flavonoides totales.

| Tratamientos | Contenido de fenoles totales (mg AGE/g muestra) | | | Contenido de flavonoides totales (mg quercetina/g muestra) | | |
|----------------|---|-------|------|--|-------|------|
| | \bar{x} | \pm | s | \bar{x} | \pm | s |
| T1 (6%, 120°C) | 10.63 | \pm | 0.14 | 1.57 | \pm | 0.07 |
| T2 (6%, 150°C) | 10.66 | \pm | 0.03 | 1.60 | \pm | 0.03 |
| T3 (10% 120°C) | 10.06 | \pm | 0.14 | 1.26 | \pm | 0.13 |
| T4 (10% 150°C) | 10.35 | \pm | 0.43 | 1.26 | \pm | 0.06 |

Donde: \bar{x} es el promedio muestral; s es la desviación estándar.

Tabla 1. Contenido de fenoles y flavonoides totales.

Los resultados reportados fueron menores con otros estudios, quienes reportaron niveles de fenoles totales de 67.9 μ g EAG/mg (Ccaccca et al., 2019) y 33.2 mg AGE/g (Doroteo et al., 2013), estas variaciones estarían relacionadas a diversos factores, como son el método de extracción, el tipo de maíz, el tipo solvente que diferencian los valores de fenoles totales obtenidos durante la extracción.

En cuanto a los flavonoides Ccaccca (2020), reportó valores de 3.09 mg Equivalente Quercetina/g, mientras que Navarro et al., (2018), obtuvieron mayores valores de flavonoides (187 mg Quercetina/100 g), quienes emplearon una extracción secuencial en extractor de lecho fijo utilizando CO₂ supercrítico. Por otro lado, Ramos et al. (2012), obtuvieron valores de 1.15 y 2.66 (g Equivalente Rutin/kg) empleando HCl al 1% durante la extracción, dichos valores son similares a los reportados en esta investigación.

La Figura 1 indica que a mayor temperatura y menor contenido de encapsulante el contenido de flavonoides y fenoles totales aumenta.

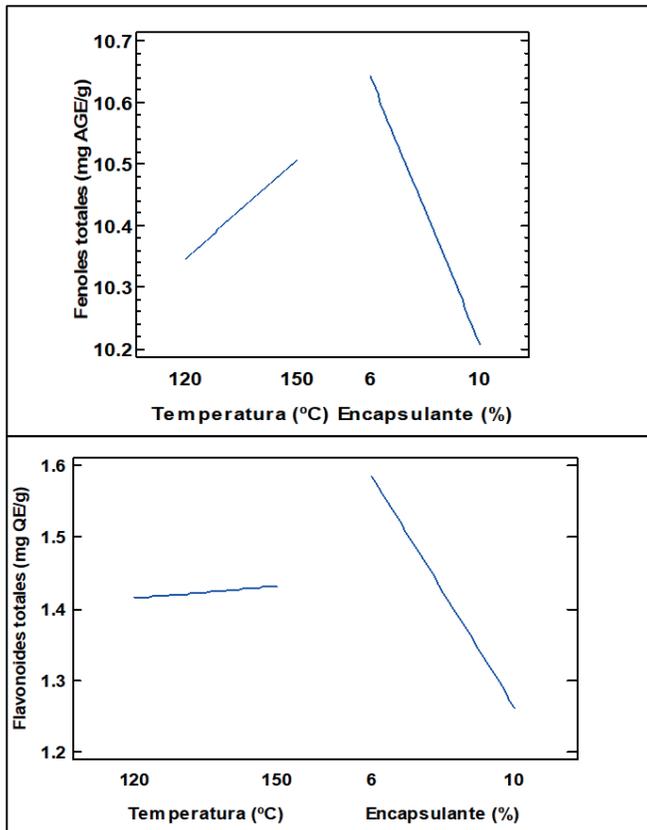


Figura 1. Efectos principales para flavonoides y fenoles totales.

3.1.2 Contenido de Antocianinas y capacidad antioxidante

Los valores del contenido de antocianinas totales estuvieron entre (T1) 0.25 a (T4) 0.30mg de cianidina-3-glucósido/g de muestra (b.s) en cada tratamiento, el T4 presenta mayor contenido de antocianinas. Mientras que los valores de la capacidad antioxidante oscilaron entre 192.88 μmol de Trolox equivalente/g a 311.4 μmol de Trolox equivalente/g. El tratamiento T1 presento la mayor capacidad antioxidante.

Reportes similares fueron reportados por Ramos et al., (2012) con valores de 0.88 g de cianidina-3-glucosido /kg.

Según Doroteo et al. (2013), utilizaron la técnica de DPPH para evaluar la capacidad antioxidante del maíz morado, logrando un resultado del 28.9%. En investigaciones adicionales, Sánchez (2019) señala que a medida que se incrementa la adición de fructano (como pared encapsulante), se observa una disminución en la actividad antioxidante de los polvos, con valores que varían de 39.84 a 30.57 μmol TE/g. Resultados similares fueron informados por Ahmed et al. (2010), quienes encontraron una reducción en la actividad antioxidante de los polvos encapsulados con mayores concentraciones de ácido ascórbico

y maltodextrina como portadores

| Tratamientos | Contenido de antocianinas totales (mg C3G/g muestra) | | | Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol ET/g}$ muestra) | | |
|----------------|--|-------|------|--|-------|-------|
| | \bar{x} | \pm | s | \bar{x} | \pm | s |
| T1 (6%, 120°C) | 0.25 | \pm | 0.01 | 311.40 | \pm | 19.13 |
| T2 (6%, 150°C) | 0.28 | \pm | 0.02 | 287.54 | \pm | 31.18 |
| T3 (10% 120°C) | 0.20 | \pm | 0.00 | 192.88 | \pm | 32.78 |
| T4 (10% 150°C) | 0.30 | \pm | 0.21 | 260.88 | \pm | 11.85 |

Donde: \bar{x} es el promedio muestral; s es la desviación estándar.

Tabla 2. Contenido antocianinas y capacidad antioxidante.

La Figura 2 indica que a mayor temperatura y menor contenido de encapsulante los niveles de antocianinas totales son mayores y se aumenta la capacidad antioxidante.

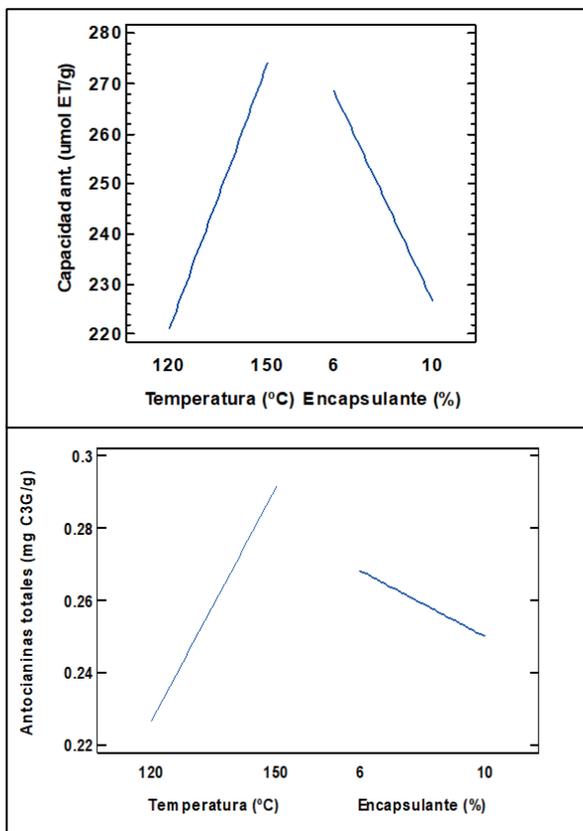


Figura 2. Efectos principales de antocianinas y capacidad antioxidante.

3.2 Propiedades de los microencapsulados

3.2.1 Color

En la Tabla 3 se muestra el color de los microencapsulados, los valores de luminosidad (L^*), croma a^* y croma b^* respectivamente para cada tratamiento, los valores de L^* oscilaron entre 77.90 a 90.08 que indica una tendencia a blanco. El T1, presentó la menor luminosidad y coloración cercana a blanco. Los valores de a^* oscilaron entre 3.21 a 4.05, indicando tendencias al color rojo, los valores altos fueron para T1 y T2. Los valores para croma b^* oscilaron entre -3.05 a -2.56 mostrando tendencia al color azul. Los valores altos fueron para los tratamientos T1 y T2 seguido de los tratamientos T3 y T4.

| Tratamientos | Luminosidad (L^*) | | | Croma a^* | | | Croma b^* | | |
|----------------|-----------------------|-------|------|-------------|-------|------|-------------|-------|------|
| | \bar{x} | \pm | s | \bar{x} | \pm | s | \bar{x} | \pm | s |
| T1 (6%, 120°C) | 78.20 | \pm | 0.12 | 4.05 | \pm | 0.04 | -3.05 | \pm | 0.00 |
| T2 (6%, 150°C) | 77.90 | \pm | 0.24 | 4.21 | \pm | 0.09 | -2.99 | \pm | 0.00 |
| T3 (10% 120°C) | 80.08 | \pm | 0.52 | 3.61 | \pm | 0.08 | -2.56 | \pm | 0.01 |
| T4 (10% 150°C) | 78.55 | \pm | 0.58 | 3.21 | \pm | 0.08 | -2.59 | \pm | 0.02 |

Donde: \bar{x} es el promedio muestral; s es la desviación estándar.

Tabla 3. Color de los microencapsulados.

Según Wie et al. (2023), llevaron a cabo un análisis de color de los microencapsulados de maíz morado donde, obtuvieron valores de 53.95 y 65.42 para L^* dichos valores se asemejan a los datos obtenidos en esta investigación, asimismo, reportaron niveles de 24.48, 25.33 y 28.09 para croma a^* los cuales difieren con los resultados, estas variaciones podrían deberse al tipo de material encapsulante, en vista de que emplearon la combinación de maltodextrina y la goma arábica. Por su parte, Sánchez et al., (2019), reportaron niveles altos de croma a^* (36.25 y 36.26), empleando como agente encapsulante el fructato de agave (pared encapsulante) en un 6 y 10% de concentración, se puede ver que los valores son diferentes de acuerdo a los resultados obtenidos.

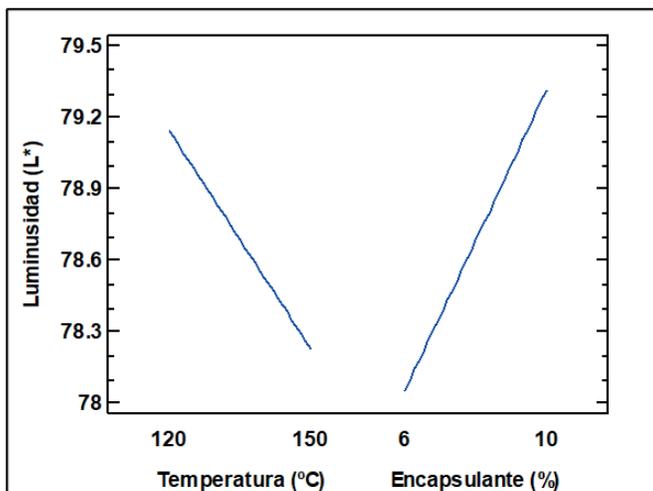


Figura 3. Efectos principales del color (luminosidad).

Respecto al croma b^* , Mendoza et al. (2016), obtuvieron valores de 6.16 con maltodextrina como agente encapsulante a una temperatura de entrada de 120 °C, este valor fue relativamente a mayor a lo reportado en el presente el cual podría estar afectado por el tipo de encapsulante.

La Figura 3 muestra que a una menor temperatura y a mayor contenido de encapsulante se mejora la luminosidad.

3.2.2 Humedad

El contenido de humedad se presenta en la Tabla 4, los valores oscilaron entre 7.19% a 8.17%, el tratamiento T4 presentó el porcentaje más bajo, mientras que T1 el nivel más alto de humedad.

| Tratamiento | Humedad (%) | | |
|----------------|-------------|-------|------|
| | \bar{x} | \pm | s |
| T1 (6%, 120°C) | 8.17 | \pm | 0.33 |
| T2 (6%, 150°C) | 7.20 | \pm | 0.21 |
| T3 (10% 120°C) | 7.43 | \pm | 0.84 |
| T4 (10% 150°C) | 7.19 | \pm | 0.47 |

Donde: \bar{x} es el promedio muestral; s es la desviación estándar.

Tabla 4. Humedad de los microencapsulados.

Mendoza et al., (2016) en su trabajo reportaron valores de humedad de los microencapsulados del maíz morado valores entre 6.07 a 9.63%. Jiménez (2017), reporto el contenido de humedad de los microencapsulados de pericarpio de xkijit (*Renealmia*

alpinia) niveles entre 2.06% a 2.47%, los valores fueron relativamente bajos, sin embargo, sin tener diferencias entre los agentes que conformaban la pared, se observó una buena transferencia de calor y evaporación del agua del recubrimiento durante el proceso.

La Figura 4 indica que a una mayor temperatura y mayor contenido de encapsulante se reduce el contenido de humedad.

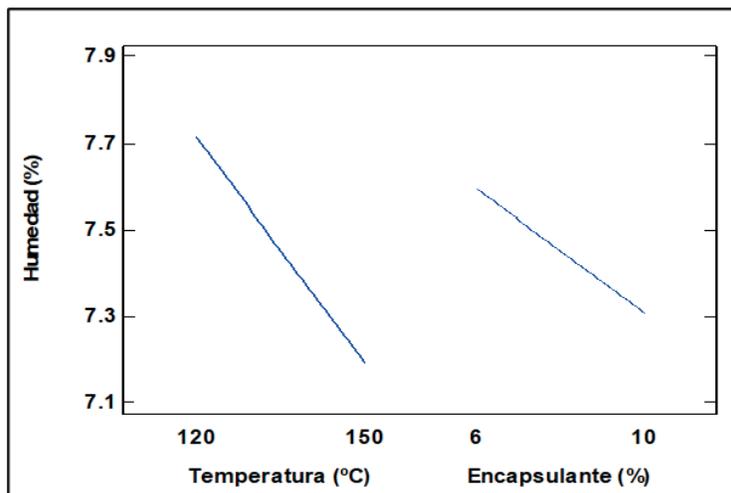


Figura 4. Efectos principales de la humedad.

3.2.3 Higroscopicidad

Los resultados se presentan en la Tabla 5, los valores de la higroscopicidad se encontraron entre 7.47 % (T4) a 8.10 % (T1), el T1 presentó mayor % de higroscopicidad. Resultados similares fueron reportados por Wei et al. (2023), para compuestos bioactivos de la coronta de maíz morado (6.08 y 9.56 gramos/100 gramos).

| Tratamientos | Higroscopicidad (%) | | |
|----------------|---------------------|-------|------|
| | \bar{x} | \pm | s |
| T1 (6%, 120°C) | 8.10 | \pm | 0.03 |
| T2 (6%, 150°C) | 7.96 | \pm | 0.71 |
| T3 (10% 120°C) | 7.68 | \pm | 0.04 |
| T4 (10% 150°C) | 7.47 | \pm | 0.50 |

Donde: \bar{x} es el promedio muestral; s es la desviación estándar.

Tabla 5. Humedad de los microencapsulados.

Por otro lado, Patil et al., (2014), indica que la adición de maltodextrina puede minimizar adherencia y la higroscopicidad favoreciendo la atomización, ya que reduce de forma significativa la viscosidad lo cual provoca que el tamaño de las gotas sea más grande y como resultado se obtendrán esferas más grandes.

La Figura 5 indica que una mayor temperatura y mayor contenido de encapsulante se reduce significativamente la higroscopicidad.

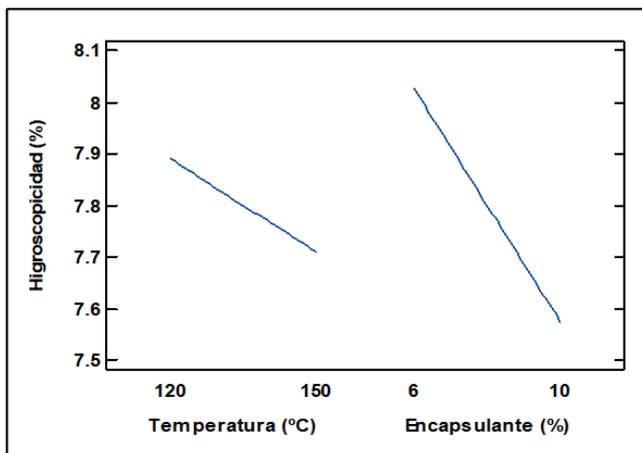


Figura 5. Efectos principales de higroscopicidad.

3.2.4 Solubilidad

Los resultados se presentan en la Tabla 6, los valores de solubilidad se encuentran entre 86.67% (T3) a 78.35% (T4), el T2 presentó mayor % de solubilidad.

Arrazola et al., (2014), evaluaron la solubilidad de los compuestos bioactivos microencapsulado secado por aspersión con 30 % de maltodextrina y 180 °C, los cuales presentaron buenas propiedades físicas tal es el caso de la solubilidad donde reportaron 93.61 %. Deng et al., (2023) en la encapsulación del maíz morado reportaron valores de la solubilidad de los microencapsulados 76.16% y 81.23% similares a los resultados obtenidos. De acuerdo los resultados de la solubilidad, Daza et al., (2016) indica que la goma arábica y la inulina en cualquier concentración aumentaron la solubilidad, y en mayor grado la goma arábica.

| Tratamientos | Solubilidad (%) | | |
|----------------|-----------------|-------|------|
| | \bar{x} | \pm | s |
| T1 (6%, 120°C) | 82.52 | \pm | 3.18 |
| T2 (6%, 150°C) | 87.37 | \pm | 2.16 |
| T3 (10% 120°C) | 86.67 | \pm | 1.57 |
| T4 (10% 150°C) | 78.35 | \pm | 5.19 |

Donde: \bar{x} es el promedio muestral; s es la desviación estándar.

Tabla 6. Humedad de los microencapsulados.

La Figura 6 indica que a una menor temperatura y menor contenido de encapsulante la solubilidad se incrementa.

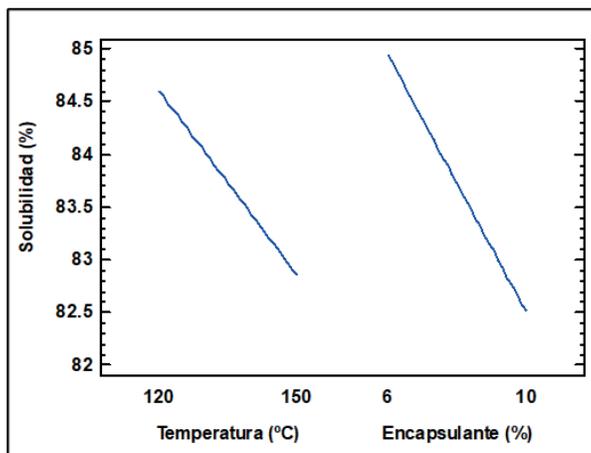


Figura 6. Efectos principales de la solubilidad.

3.2.5 Actividad de agua de los microencapsulados

Los resultados se muestran en la Tabla 7. Los valores de actividad de agua en cada tratamiento variaron entre un máximo de 0.32 (T2) y un mínimo de 0.29 (T4). El T1 presentó la mayor actividad de agua. Los efectos principales indican que la temperatura y concentración del encapsulante influyen independientemente de la actividad del agua.

| Tratamientos | Actividad de agua (A_w) | | |
|----------------|-----------------------------|-------|------|
| | \bar{x} | \pm | s |
| T1 (6%, 120°C) | 0.32 | \pm | 0.00 |
| T2 (6%, 150°C) | 0.30 | \pm | 0.01 |
| T3 (10% 120°C) | 0.31 | \pm | 0.00 |
| T4 (10% 150°C) | 0.29 | \pm | 0.00 |

Donde: \bar{x} es el promedio muestral; s es la desviación estándar.

Tabla 7. Humedad de los microencapsulados.

Jiménez (2017), reportó valores de 0.261 de actividad de agua de microencapsulados de frutos xkijit (*Renalmia alpinia*), emplearon maltodextrina como agente encapsulante, este resultado se asemeja al resultado obtenido. Mientras que Wei et al., (2023), reportó valores de 0.34. Mendoza et al., (2016) reportó el valor de 0.38.

Según Cortés-Rojas, (2015), en el secado por aspersión permite obtener niveles bajos de actividad de agua, siendo valores favorables para mantener la estabilidad física, química y microbiológica del producto seco.

La Figura 7 indica que a una mayor temperatura y mayor contenido de encapsulante presenta menor actividad de agua.

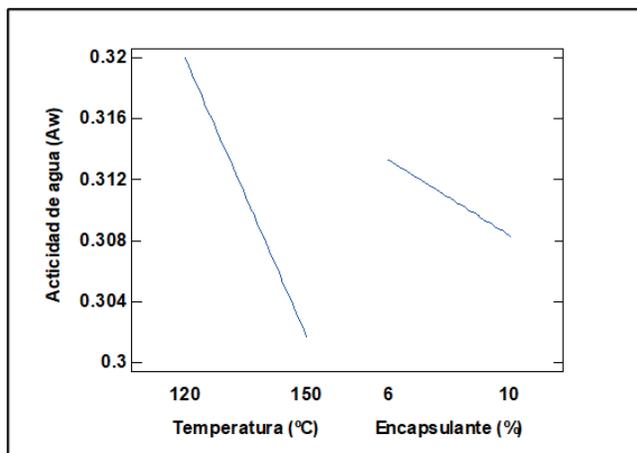


Figura 7. Efectos principales de la solubilidad.

4 | CONCLUSIONES

Se logró evaluar los compuestos bioactivos microencapsulados a partir de la coronta de maíz morado en matrices de maltodextrina y goma tara, donde se pudo observar que la temperatura de entrada y la concentración de encapsulante influye en la retención de los compuestos bioactivos de la coronta del maíz morado. El tratamiento que presentó las mejores características físicas y mayor contenido de compuestos bioactivos fue T2 (6%, 150°C).

AGRADECIMIENTO

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

REFERENCIAS

Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2014). Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante secado por aspersión y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Información tecnológica*, 25(3), 31-42

Cortés-Rojas, D., Fernandes, C., & Oliveira, W. (2015). Optimization of spray drying conditions for production of *Bidens pilosa* L. dried extract. *Chemical Engineering Research and Design*, 93, 366-376. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2014.06.010>

Ccaccya, A. M., M. Soberón e I. Arnao. (2019). Estudio comparativo del contenido de compuestos bioactivos y cianidina-3- glucósido del maíz morado (*Zea mays* L.) de tres regiones del Perú. *Rev. Soc. Quím. Perú* 85: 206-215. doi: <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i2.78>.

- Daza, L., Fujita, A., Fávoro-Trinda, C., Rodrigues-Ract, J., Granato, D., & Genovese, M. (2016). Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. *Food and Bioproducts Processing*, 97, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.10.001>
- Doroteo, V. H., C. Díaz, C. Terry y R. Rojas (2013). Compuestos fenólicos y actividades antioxidantes in vitro de 6 plantas peruanas. *Rev. Soc. Quím. Perú* 79: 13-20.
- García, C., Gonzalez, L., Ochoa, M., & Medrano, R. (2014). MICROENCAPSULACIÓN DE JUGO DE CEBADA VERDE MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN, 4(4), 262–266.
- Jiménez González, Oscar, & OSCAR; (2017). Obtención, evaluación de pigmentos microencapsulados a partir de frutos xkijit (*Renealmia alpinia*) e incorporación en una matriz alimenticia. Buap.mx; Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/55889e6c-1d9a-4781-9def-0b302d1016c1>
- Mendoza, A., Mendoza Sillerico, E., Curi Borda, C., Rojas Mercado, V., Alvarado Kirigin, J., & Bello, A. (2016). ENCAPSULATION, CHARACTERIZATION AND THERMAL STABILITY OF ANTHOCYANINS FROM ZEA MAYS L. (PURPLE CORN). *Bolivian Journal of Chemistry*, 33(5), 183–189. http://www.bolivianchemistryjournal.org/QUIMICA%202016E%20PDF/5_Anthocyanin_encapsulation_RTP.pdf
- Patil, V., Chauhan, A. K., & Singh, R. P., (2014). Optimization of the Spray-drying Process for Developing Guava Powder using Response Surface Methodology. *Powder Technology*, 253, 230–236.
- Ramos-Escudero, F., Muñoz, A. M., Alvarado-Ortíz, C., Alvarado, Á., & Yáñez, J. A. (2012). Purple Corn (*Zea mays* L.) Phenolic Compounds Profile and Its Assessment as an Agent Against Oxidative Stress in Isolated Mouse Organs. *Journal of Medicinal Food*, 15(2), 206–215. doi:10.1089/jmf.2010.0342.
- Riera (2020). Extracción y microencapsulación de antocianinas a partir de la planta sangorache (*Amaranthus quitensis*). <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/3140>
- Sánchez, E., & Castro Vargas, D. (2023). Extracción y cuantificación de Antocianinas de maíz morado (*zea mays* l.) utilizando dos solventes a diferentes temperaturas y tiempos de extracción. *Revista Latinoamericana De Difusión Científica*, 5(8), 47-80. <https://doi.org/10.38186/difcie.58.04>
- Wei, D., Li, X., Ren, G., Bu, Q., Ruan, Y., Ye, F., & B, L. (2023). Stability of Purple Corn Anthocyanin Encapsulated by Maltodextrin, and Its Combinations with Gum Arabic and Whey Protein Isolate. *Foods*, 12(12), 2393–2393. <https://doi.org/10.3390/foods12122393>