



EXTRACTO ANTIOXIDANTE ENCAPSULADO POR ATOMIZACIÓN Y POR INCLUSIÓN MOLECULAR A PARTIR DE CÁSCARA Y SEMILLA DE CAMU CAMU (*Myrciaria dubia*)

Encapsulated antioxidant extract by spray dryer and molecular inclusion from camu camu (*Myrciaria dubia*) shell and seed

Silvia Virginia Melgarejo Cabello¹ ; Joseferik Calderón Pino² ; Shallinny Ramírez Vásquez³ ; Vladimir Reátegui Isla³ ; Jorge Miguel Pereda Ibañez¹ ; Diana Nolazco Cama¹ ; Eduardo Reynaldo Morales-Soriano^{1,*} 

¹Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina s/n, La Molina, Lima – Perú.

²Universidad Nacional Agraria de la Selva

³Terra Nuova, CENTRO PER LA SOLIDARIETÀ E LA COOPERAZIONE TRA I POPOLI

*Email: erms@lamolina.edu.pe

Recibido: 08/12/2021; Aceptado: 29/01/2023; Publicado: 21/03/2024

ABSTRACT

Camu camu (*Myrciaria dubia*) is a fruit from the Peruvian Amazon, highly valued for its high content of vitamin C, which is concentrated in its pulp. Due to this nutritional characteristic, it is processed into juices and extracts. However, its industrialization generates a considerable amount of waste. Therefore, its utilization is vital to reduce environmental pollution. The content of phenolic compounds in the peel and seed of camu camu has been studied, indicating that factors such as drying temperature and the method of stabilizing the concentrated powder are key to preserving its antioxidant activity. The objective of the study was to evaluate two drying temperatures (50 and 65°C) on camu camu seeds and peels, analyzing their effect on the total phenol content and the efficacy of atomization encapsulation and molecular inclusion of the concentrated extract at the optimal temperature. Extraction was conducted out with food-grade ethanol solvent at a ratio of 1:40 (g/g), at 55°C for 30 minutes, then concentrated to 60% in a rotary evaporator. At 50°C, a lower of phenolics (4979.99 ± 94.24 mg gallic acid equivalent (GAE)/100g of sample) was found in the peel and seed mixture, and total anthocyanins in the peel (47.82 ± 3.93 mg cyanidin/100 g sample).. Atomization and molecular inclusion of the concentrated extract showed efficacy in retaining the encapsulated total phenols. In conclusion, using a temperature of 50°C for drying has a

Forma de citar el artículo (Formato APA):

Melgarejo, S., Calderón, J., Ramírez, S., Reátegui, V., Pereda, J., Nolazco, D., & Morales-Soriano, E. (2024). Extracto antioxidante encapsulado por atomización y por inclusión molecular a partir de cáscara y semilla de camu camu (*Myrciaria dubia*). *Anales Científicos*, 85(1), 1-12. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v85i1.1946>.

Autor de correspondencia (*): Eduardo Reynaldo Morales-Soriano. Email: erms@lamolina.edu.pe

© Los autores, Publicado por la Universidad Nacional Agraria La Molina.

This is an open access article under the CC BY.

lesser impact on the content of polyphenols. Additionally, two alternatives for stabilizing the extract are presented: with maltodextrin and molecular inclusion with cyclodextrin, both equally effective.

Keywords: *Myrciaria dubia* | antioxidant concentrate | encapsulation | molecular inclusion | total phenols.

RESUMEN

El camu camu (*Myrciaria dubia*) es una fruta de la Amazonía peruana, valorada por su alto contenido de vitamina C, la cual se concentra en su pulpa. Debido a esta característica nutricional se procesa en jugos y extractos. Sin embargo, su industrialización genera una cantidad considerable de residuos. Por ello, su aprovechamiento es vital para reducir la contaminación ambiental. El contenido de compuestos fenólicos en la cáscara y semilla del camu camu han sido estudiados, dando a entender que los factores como la temperatura de secado y el método de estabilización del concentrado en polvo, son claves para conservar su actividad antioxidante. El objetivo del estudio fue evaluar dos temperaturas de secado (50 y 65°C) en semillas y cáscaras de camu camu, analizando su efecto en el contenido de fenoles totales y la eficacia de la encapsulación por atomización e inclusión molecular del extracto concentrado a la mejor temperatura. La extracción se realizó con un solvente etanólico (grado alimentario) en relación 1:40 (peso/peso) (g/g), a 55°C por 30 minutos, luego fue concentrado en 60% en rotavapor. A 50°C, se encontró menor contenido de fenólicos (4979,99 ± 94,24 mg ácido gálico equivalente (AGE)/ 100g de muestra) en la mezcla de cáscara y semilla y antocianos totales en cáscara (47,82 ± 3,93 mg cianidina /100 g muestra). La atomización e inclusión molecular del extracto concentrado mostraron eficacia en retener los fenoles totales encapsulados. En conclusión, utilizar una temperatura de 50°C para el secado tiene menor impacto en el contenido de polifenoles. Además, se muestran dos alternativas para estabilizar el extracto: atomización con maltodextrina e inclusión molecular con ciclodextrina, ambas igualmente eficaces.

Palabras clave: *Myrciaria dubia* | concentrado antioxidante | encapsulamiento | inclusión molecular | fenoles totales.

1. INTRODUCCIÓN

El camu camu (*Myrciaria dubia*) es una fruta amazónica (Akter et al., 2011) reconocida por su alto contenido de ácido ascórbico y por su potente actividad antioxidante. Esta actividad antioxidante se debe principalmente a la presencia de compuestos fenólicos como flavonoles, antocianinas y ácido elágico. Debido a estas características excepcionales, el fruto se emplea en la producción de pulpas, jugos y concentrados, utilizados tanto en la formulación de medicamentos como en

productos alimenticios (Cunha-Santos et al., 2019).

El proceso industrializado para la obtención de pulpa de *M. dubia* genera subproductos que representan aproximadamente el 50% de la masa del fruto. Estos subproductos, generalmente son desechados o utilizados para la alimentación animal debido a la falta de aplicaciones industriales que puedan aprovecharlos (De Azevêdo et al., 2014; Santos et al., 2022). Por otro lado, existen investigaciones que han demostrado el alto contenido de los compuestos bioactivos en las partes de la fruta que son tratadas como

sub productos por la industria alimentaria (García, 2022; López et al., 2021). Al respecto, Conceição et al. (2019) reportaron valores del contenido de fenólicos totales (mg/g de extracto) iguales a 4.32 ± 0.03 en pulpa, 33.4 ± 0.5 en cáscara y 23.41 ± 0.07 en semillas de camu camu.

En la industria alimentaria, es común el uso de antioxidantes sintéticos para reducir los efectos negativos de la oxidación de alimentos, tales como el pardeamiento enzimático y no enzimático. Estos compuestos son de bajo costo y alta eficiencia. Sin embargo, el mercado de *Health and Wellness* muestra una tendencia de reemplazar los aditivos sintéticos o artificiales por compuestos fitoquímicos o extractos de fuentes naturales con potencial antioxidante como sustitutos de las moléculas sintéticas. Esta alternativa debe garantizar la sostenibilidad a largo plazo, es decir proporcionar estabilidad al extracto natural durante el almacenamiento, reduciendo su deterioro oxidativo causado por el efecto de la luz, el oxígeno, entre otros factores externos. La encapsulación es la tecnología más adecuada para estos casos, consiste en recubrir una sustancia bioactiva con un material de pared o soporte (Samborska et al., 2021).

Las técnicas de encapsulación pueden clasificarse en métodos físicos (atomización, liofilización, precipitación por fluidos supercríticos y evaporación de solventes), fisicoquímicos (coacervación, gelificación iónica y liposomas) y químicos (inclusión molecular y polimerización interfacial) (Özkan et al., 2018). Por ejemplo, la atomización, aunque es una técnica ampliamente utilizada, puede influir en la capacidad antioxidante de los extractos dependiendo de la temperatura, el proceso, tipo y cantidad del material de pared (Fernandes et al., 2014). En forma similar, en las encapsulaciones por inclusión molecular,

se han observado variaciones en la capacidad antioxidante según la concentración de compuestos utilizados (Chakraborty et al., 2010; Kamimura et al., 2014).

Dada la relevancia de aprovechar los subproductos de *M. dubia*, esta investigación se centra en la obtención de un antioxidante a partir de los subproductos del procesamiento de pulpa; y en la evaluación de los efectos de la técnica de encapsulación por atomización y por inclusión molecular en la capacidad antioxidante del extracto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Las cáscaras y semillas fueron obtenidas como subproductos luego del proceso de extracción de pulpa, siguiendo las prácticas de procesamiento de *M. dubia* establecidas por la empresa Sanshin Amazon Herbal Science S.R.L. en Ucayali, Perú. Los frutos fueron recibidos en estado pintón-maduro, posteriormente son lavados y desinfectados con 100 ppm de hipoclorito de sodio. Luego fueron despulpados y finalmente los residuos obtenidos son congelados a -20°C en cilindros de 60 kg hasta su uso. Para su empleo posterior, fueron descongelados a temperatura de refrigeración (10 a 12°C) y luego sometidos a un proceso de secado por convección en bandejas, con temperaturas que oscilan entre 50 y 65°C , hasta alcanzar una humedad menor al 5%. Posteriormente, se procedió a medir el contenido de humedad de los residuos.

Cuantificación de antocianos totales

Los niveles totales de antocianos fueron determinados solamente en las cáscaras utilizando el método de pH diferencial, como se describe en Giusti y Wrolstad (2001). Para ello, se maceraron 50 g de muestra deshidratada en 100 mL de una solución

etanólica al 50%. Posteriormente, se tomó una alícuota de esta solución y se ajustó a pH 1, mientras que otra se ajustó a pH 4,5. La diferencia en la absorbancia a 510 nm será proporcional al contenido de antocianinas, expresada como cianidina 3-glucósido.

Cuantificación de fenoles totales

Se determinó por el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, sobre la mezcla de cáscaras y semillas de *M. dubia*. Las muestras se diluyeron y se extrajo una alícuota de 0.5 ml que fue llevada a un tubo precipitado. Luego, se añadieron 2.5ml de reactivo de Folin Ciocalteu y la mezcla fue diluida en agua (1:10). La mezcla se dejó en reposo por 5 minutos. Luego se agregaron 2ml de carbonato de sodio al 4%. Los tubos de ensayo con las muestras se dejaron reposar por dos horas bajo la luz normal y luego se midió la absorbancia a 740 nm en un espectrofotómetro. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico por cada 100g de muestra. Para el caso de los encapsulados, se siguió el método propuesto por Avilés-Betanzos et al. (2023). Se lavaron 500 mg de polvo con 2.5 ml de metanol, esta mezcla fue agitada por 3 minutos. Luego, la mezcla se centrifugó a 4000 rpm x 20 minutos para eliminar los compuestos fenólicos no encapsulados del sobrenadante. Al precipitado se le agregó 2.5 ml de agua destilada y se filtró para retener el material de pared. La solución filtrada fue analizada como extracto, según como se detalló anteriormente.

Obtención de concentrado antioxidante

Para la obtención del concentrado antioxidante se utilizó 50 g de residuo. A esta muestra se le añadió una mezcla hidroalcohólica al 50% de etanol en una relación 1:40 (muestra: mezcla hidroalcohólica) (peso/peso), por 30 min a 55°C. Luego se centrifugó a 4000 rpm durante 20 minutos, y el sobrenadante fue colectado en un frasco

oscuro (extracto crudo). Finalmente, este extracto fue concentrado hasta alcanzar el 60% del volumen original en un rotavapor. El concentrado obtenido se refrigeró a 10°C hasta la etapa de encapsulación, por atomización y por inclusión molecular.

Encapsulación por atomización y contenido de fenoles

La preparación del extracto para la atomización se basó en el reporte de Dib Taxi et al. (2003) y García et al. (2020), con algunas modificaciones. El concentrado obtenido fue mezclado con 20% de maltodextrina y homogenizado en un agitador. Luego, la mezcla fue luego atomizada utilizando un Atomizador Nyro, con los siguientes parámetros: temperatura de aire caliente de 150°C, temperatura de salida de aire de 90°C y una velocidad de alimentación de 38 litros por hora. Al producto en polvo se le midió el contenido de fenoles totales, siguiendo la metodología indicada.

Encapsulación por inclusión molecular y contenido de fenoles

La encapsulación por inclusión molecular se realizó mediante el método de coprecipitación considerando lo reportado por Zhong et al. (2020) con algunas modificaciones. Para ello, se disolvieron 8 g de β -ciclodextrina en 50 ml de agua destilada a una temperatura de 50°C, mediante agitación constante a 500 r/min en una placa caliente. Posterior a la disolución se agregaron 4 ml de concentrado antioxidante y se mantuvieron en constante agitación durante 3 horas. Luego la solución se dejó reposar a 4°C durante la noche, seguida de una centrifugación por 20 min a 10,000xg. Posteriormente, se secó en una estufa de convección (SJR, JSON-150, Korea) a 50°C por 24 horas. Se determinó el contenido de fenoles totales al producto en polvo como se indicó en la metodología.

Diseño y análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, cuyos factores fueron el tipo de residuo con tres niveles (cáscara, semilla y mezcla de cáscara + semilla), y la temperatura, con dos niveles (50 y 65°C), obteniendo un total de 6 tratamientos, como se detalla en la Tabla 1. Se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento. A los resultados obtenidos en cada variable respuesta, se realizó la prueba de distribución normal y homogeneidad de varianzas antes del análisis de varianza ($\alpha=0.05$). De haber diferencia significativa entre tratamientos, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad de cáscara y semilla deshidratada

Los resultados de la humedad final de las cáscaras y semillas de camu camu deshidratadas, tanto por separado como mezcladas, se presentan en la Tabla 1. Se observa que todos los tratamientos tuvieron una humedad menor al 5%. Este parámetro

es de gran importancia en la conservación de la vida útil de los productos y subproductos alimenticios porque de ello depende la estabilidad en términos de calidad e inocuidad. Asimismo, la eliminación del agua minimiza el deterioro, crecimiento microbiano y las reacciones enzimáticas. También se debe considerar que la temperatura de secado provoca pérdidas de valores nutricionales, bioactivas, fisicoquímicas y sensoriales. Sin embargo, estas pérdidas se compensan con ventajas tales como el almacenamiento seguro, reducción de riesgo de deterioro y reducción del costo en el transporte (Rahman et al., 2016).

Cuantificación de antocianos totales en cáscara

En la Tabla 2 se muestran los resultados de antocianos totales analizados únicamente en las cáscaras deshidratadas de camu camu. No se observan diferencias significativas entre los tratamientos, es decir, ambas temperaturas no influyen significativamente en el contenido de antocianos totales. Al respecto, Laleh et al. (2006), afirman que la temperatura es un factor importante en el

Tabla 1. Humedad de cáscara y semilla deshidratada de camu camu

Tratamiento	Residuo	Temperatura	Humedad (%) ¹
T1	Cáscara	50°C	4,80 ± 0,020 e
T2	Cáscara	65°C	3,74 ± 0,013 c
T3	Semilla	50°C	3,37 ± 0,021 b
T4	Semilla	65°C	3,27 ± 0,013 a
T5	Cáscara + semilla	50°C	3,97 ± 0,022 d
T6	Cáscara + semilla	65°C	3,77 ± 0,013 c

¹ Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de una misma columna quiere decir que hay diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (95%).

Tabla 2. Antocianos totales de cáscara deshidratada de camu camu

Tratamiento	Temperatura de secado	Antocianos Totales (mg cianidina / 100 g muestra) ¹
T1	50°C	47,82 ± 3,93 a
T2	65°C	46,14 ± 1,54 a

¹ Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de una misma columna quiere decir que hay diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (95%).

deterioro de los antocianos al desestabilizar su estructura molecular. Además, los autores señalan que factores como el pH, la intensidad de luz, la presencia de otros pigmentos, metales, oxígeno, ácido ascórbico, azúcares, entre otros, también inciden en la estabilidad de las antocianos. Por otro lado, Bridle y Timberlake (1997) sugieren que la estabilidad de los antocianos puede variar según la estructura molecular específica de cada compuesto.

Villanueva-Tiburcio et al. (2010) estudiaron el contenido de antocianinas en la cáscara fresca y seca *M. dubia* (H.B.K) en diferentes estados de madurez. La extracción fue realizada en medio acuoso, en la cual el contenido de antocianos fue de $46,42 \pm 0,52$ y de $3,83 \pm 0,11$ en cáscara fresca de frutos maduro y pintón respectivamente, y en la cáscara seca no se detectó presencia de antocianinas. Sin embargo, en la presente investigación se encontraron antocianinas en las cáscaras secas, lo cual podría deberse a los diferentes métodos de extracción de los componentes sólidos que se ven influenciados por parámetros como la temperatura de secado del producto, la velocidad de agitación, la polaridad del solvente y el tamaño de la partícula.

Según los estudios de Zanatta et al. (2005), el compuesto cianidina-3-glucósido se determinó como el pigmento con mayor contenidos de antocianos totales en los

frutos de camu camu, con valores entre $30,3 \pm 6,8$ mg/100 - $54,0 \pm 25,9$, los cuales son menores al rango reportados en esta investigación. Asimismo, Fidelis et al. (2018) indicaron que los residuos (semillas y cáscaras) de *M. dubia* representan el 40% del total de fruta, cantidad que generalmente se desecha sin aprovechar sus componentes químicos. Por otro lado, Özkan et al. (2002), indica que color rojo brillante en las frutas como la granada, cereza y fresa se relacionan con su riqueza en antocianos. Por ello, se puede inferir que, en el caso del camu camu, la mayoría de los compuestos bioactivos, como las antocianos, se retienen en las partes pigmentadas de la cáscara. Es decir, la cáscara contiene un mayor potencial antioxidante en comparación con la pulpa.

Cuantificación de fenoles totales de cáscara y semilla deshidratada

La cuantificó los fenoles totales en las mezclas secas de cáscaras y pepas de *M. dubia* se realizó mediante el método de folin-ciocalteu, y los resultados se presentan en la Tabla 3.

Se observa una disminución del 11% de fenoles totales en el secado de 65°C respecto al de 50°C debido a los efectos de la temperatura; sin embargo, se debe tener en cuenta el grado de maduración de la fruta al momento de la cosecha y al momento de evaluar los fenoles totales. Investigaciones

Tabla 3. Fenoles totales de cáscara y semilla deshidratada de camu camu

Tratamiento	Residuo	Temperatura	Fenoles Totales (mg de ácido gálico equivalente / 100 g muestra) ¹
T1	Cáscara	50°C	6846,14 ± 189,69 d
T2	Cáscara	65°C	5151,90 ± 268,40 c
T3	Semilla	50°C	4846,86 ± 483,78 bc
T4	Semilla	65°C	2898,50 ± 193,10 a
T5	Cáscara + semilla	50°C	4979,99 ± 94,24 bc
T6	Cáscara + semilla	65°C	3664,00 ± 133,80 ab

¹ Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de una misma columna quiere decir que hay diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (95%).

previas, como la realizada por Grigio et al. (2021), han registrado que los mayores valores de compuestos fenólicos se encuentran en la fruta madura, seguidos por la medianamente madura y, finalmente, la inmadura. Del mismo modo, Calvay (2009) registró mayores valores de compuestos fenólicos en la pulpa de *Myrciaria dubia* en estado de pintón o maduro. Asimismo, Calvay (2009) registró que el tiempo de almacenamiento disminuye el contenido de los compuestos fenólicos, incluso cuando se almacenan envasados al vacío y congelados a -15°C .

En este estudio, se evaluó el efecto de dos temperaturas en el contenido de compuestos fenólicos, y se determinó que la temperatura de 65°C tuvo una disminución significativa de 11% respecto a la de 50°C . Este resultado está conforme con lo señalado con Sepúlveda y Zapata (2019), quienes indican que la degradación de compuestos fenólicos en el calor sigue una cinética de primer orden.

Obtención de concentrado antioxidante

El extracto antioxidante se trabajó con los residuos combinados (cáscara y semilla) deshidratados a 50°C . No solo se busca la mayor cantidad de polifenoles, sino también aprovechar el 100% de los residuos. Además, durante la obtención del concentrado, se extraen solamente los polifenoles, y los resultados previos demuestran que tanto la cáscara como la semilla tienen valores considerables a ser extraídos.

Encapsulación por atomización y contenido de fenoles

La muestra combinada de cáscara y semilla fue encapsulada, obteniendo un contenido de fenoles igual a $706,25 \pm 68,09$ mg de ácido gálico equivalente / 100 g de encapsulado. Estos valores concuerdan con los reportados por Fidelis et al. (2018). La diferencia con

los datos iniciales se debe también a que el encapsulado va a poseer una cantidad considerable de maltodextrina y que, la alta temperatura del atomizado pudo afectar también el contenido de polifenoles. Una pérdida o decrecimiento de la cantidad de fenoles y consiguiente, disminución de la capacidad antioxidante luego de la encapsulación y secado por atomización, es debido a la temperatura de secado y también de la concentración de maltodextrina (Öskan et al., 2018).

En general, la atomización presenta varias ventajas, incluyendo la rapidez del proceso, alto rendimiento, escalabilidad a nivel industrial y la disponibilidad de equipamiento accesible; sin embargo, dependiendo del tipo de sustancia a encapsular y del material de pared se puede protegerse en menor o mayor medida al compuesto de interés. Por lo tanto, es importante evaluar la temperatura óptima del proceso optimizado y características finales del producto durante el almacenamiento.

Encapsulación por inclusión molecular y contenido de fenoles

Para este proceso también se usó el concentrado de cáscara y semilla deshidratado a 50°C . El contenido de fenoles totales fue similar al obtenido por atomización, obteniéndose $675,87 \pm 65,00$ mg de ácido gálico equivalente / 100g de encapsulado.

Gonçalves da Rosa et al. (2013) determinaron que alrededor del 52% de ácido gálico encapsulado por β -ciclodextrina a partir de un extracto de mora; sin embargo, la cantidad atrapada por el encapsulante depende de la sustancia o molécula de polifenol (Kalogeropoulos et al., 2010). Es importante resaltar que la actividad antioxidante se ha reportado para mora cercano al 85% de la actividad antioxidante a diferencia

de un extracto puro, que podría deberse al aporte antioxidante que presentan las ciclodextrinas (Aree y Jongrungruangchok, 2018; Shiozawa et al., 2018).

Żyzelewicz et al. (2018) indicaron que β -ciclodextrina puede formar complejos de inclusión no covalentes con polifenoles, cuya liberación de la matriz requiere la evaluación de las condiciones de pH, solvente y temperatura (Mourtzinis et al., 2007; Gonçalves da Rosa et al., 2013). La complejación de fenoles con β -ciclodextrina permite ser usados en la formulación de alimentos y suplementos dietéticos, considerando un cambio en las propiedades fisicoquímicas de los polifenoles, como una mejor solubilidad, estabilidad térmica y biodisponibilidad de moléculas poco solubles, además de mejorar la percepción del sabor (Żyzelewicz et al., 2018; Simsek et al., 2020).

4. CONCLUSIONES

La temperatura de secado tiene un efecto significativo sobre el contenido de fenoles en la mezcla de cáscara y semilla de camu camu. Por ello, la temperatura de 50°C es la más idónea para deshidratar estos subproductos en busca de su estabilización para futuros usos, por ser el tratamiento donde contiene mayor contenido de fenoles totales. Además, la estabilización del concentrado da como opción un encapsulado por atomización, pero como alternativa, la inclusión molecular de β -ciclodextrina involucra solamente un secado por estufa posterior, por lo que es una tecnología más viable y que no afecta tanto el contenido de polifenoles totales.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido financiado con fondos de la Unión Europea a través del proyecto Circulando en la Amazonía.

Conflicto de intereses

Los autores firmantes del presente trabajo de investigación declaran no tener ningún potencial conflicto de interés personal o económico con otras personas u organizaciones que puedan influir indebidamente con el presente manuscrito.

Contribuciones de los autores

SVMC, ERMS: Concepción, diseño, adquisición de datos e interpretación.

JCP, SV, VRI, JMPI, DNC: Adquisición de fondos y administración del proyecto.

Fuentes de financiamiento

Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de ninguna agencia de financiación, sector gubernamental ni comercial o sin fines de lucro.

Aspectos éticos / legales:

El autor declara no haber incurrido en aspectos antiéticos ni haber omitido normas legales.

ORCID y correo electrónico

Silvia Virginia Melgarejo Cabello	smelgarejo@lamolina.edu.pe
	https://orcid.org/0000-0002-1883-5853
Joseferik Calderón Pino	josephcalderonpino@gmail.com
	https://orcid.org/0000-0003-1159-0117
Shallinny Ramírez Vásquez	shallinnyramirez@terranuova.org.pe
	https://orcid.org/0000-0003-3053-5121
Vladimir Reátegui Isla	vreategui@lamolina.edu.pe
	https://orcid.org/0000-0002-0206-0627
Jorge Miguel Pereda Ibañez	jpered@lamolina.edu.pe
	https://orcid.org/0000-0003-1447-455X
Diana Nolazco Cama	dnolazco@lamolina.edu.pe
	https://orcid.org/0000-0002-8192-7611
Eduardo Reynaldo Morales-Soriano	erms@lamolina.edu.pe
	https://orcid.org/0000-0002-9863-9157

Referencias bibliográficas

- Akter, S., Oh, S., Bang, J., & Ahmed, M. (2011). Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1728–1732.
- Aree, T., & Jongrungruangchok, S. (2018). β -Cyclodextrin encapsulation elevates antioxidant capacity of tea: A closing chapter on non-epicatechins, atomistic insights from X-ray analysis, DFT calculation and DPPH assay. *Carbohydrate Polymers*. 2018 Aug 15; 194, 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.016>
- Avilés-Betanzos, K. A., Cauich-Rodríguez, J.V., Ramírez-Sucre, M.O., & Rodríguez-Buenfil, I. M. (2023). Optimization of Spray-Drying Conditions of Microencapsulated Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) Extracts and Physicochemical Characterization of the Microcapsules” Processes, 11 (4), 1238. <https://doi.org/10.3390/pr11041238>
- Bridle, P., & Timberlake, C. (1997). Anthocyanins as natural food colours-selected aspects. *Food Chemistry*, 58(1-2), 103-109. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00222-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00222-1)
- Calvay, H. (2009). Evaluación de la actividad antioxidante en pulpa concentrada de camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc. Vaugh) en dos estados de madurez en Tingo María. [Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/243>
- Chakraborty, S., Basu, S., Lahiri, A., & Basak, S. (2010). Inclusion of chrysin in β -cyclodextrin nanocavity and its effect on antioxidant potential of chrysin: A spectroscopic and molecular modeling approach. *Journal of Molecular Structure*, 977(1-3), 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2010.05.030>
- Conceição, N., Albuquerque, B. R., Pereira C., Corrêa, R. C. G., Lopes, C. B., Calhelha, R. C., Alves, M. J., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R. (2019). By-products of camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh] as promising sources of bioactive high added-value food ingredients: Functionalization of yogurts. *Molecules*, 25(1), 70. <https://doi.org/10.3390/molecules25010070>
- Cunha-Santos, E. C. E., Rodrigues-Silva, C., da Silveira, T., Godoy, H. (2022). Optimization of phenolic compounds extraction of different parts of camu-camu fruit from different geographic regions. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 77(3), 340–344. [10.1007/s11130-022-00985-0](https://doi.org/10.1007/s11130-022-00985-0).
- De Azevêdo, J.C.S., Fujita, A., de Oliveira, E. L., Genovese, M. I., Correia, R. T. P. 2014. Dried camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh) industrial residue: A bioactive-rich Amazonian powder with functional attributes. *Food Research International*, 62, 934-940. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.018>
- Dib Taxi, C. M, de Menezes, H. C., Santos, A. B., & Grosso, C. R. (2003). Study of the microencapsulation of camu-camu (*Myrciaria dubia*) juice. *Journal of Microencapsulation*, 20(4), 443–448. <https://doi.org/10.1080/0265204021000060291>
- Fernandes, M. R. V., Dias, A. L. T., Carvalho, R. R., Souza, C. R. F., &

- Oliveira, W. P. (2014). Antioxidant and antimicrobial activities of *Psidium guajava* L. spray dried extracts. *Industrial Crops and Products*, 60, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.049>
- Fidelis, M., Santos, J. S., Escher, G. B., do Carmo, M. V., Azevedo, L., da Silva, M. C., Putnik, P., & Granato, D. (2018). In vitro antioxidant and antihypertensive compounds from camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh, Myrtaceae) seed coat: A multivariate structure-activity study. *Food and Chemical Toxicology*, 120, 479–490. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.043>
 - García, P. (2022). Composición y sustancias bioactivas en subproductos de la industrialización de frutas. *REVISTA FANUS*, 3(3), 22-44.
 - García, VA., Borges, JG, Vanin, FM, & Carvalho, RA. (2020). Estabilidad de la vitamina C en polvo de acerola y camu-camu obtenido por secado por aspersión. *Revista Brasileña de Tecnología de Alimentos*, 23, e2019237. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.23719>
 - Giusti, M., & Wrolstad, R. (2001). Anthocyanins. Characterization and measurement with UV visible spectroscopy. In: Giusti, M.M. and Wrolstad, R.E., Eds., *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, Fl.2.1.-Fl.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
 - Gonçalves da Rosa, C., Dellinghausen, C., Carlos, R., Ramos, M., Valmir, E., Rickes, S., Farias, R., & Kuhn, J. (2013). Microencapsulation of gallic acid in chitosan, β -cyclodextrin and xanthan. *Industrial Crops and Products*, 46, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.053>
 - Grigio, M., Ariel, E., Alves, E. Berlingieri, M., Cardoso, P., Ferreira, M., & Zanchetta, J. (2021). Bioactive compounds in and antioxidant activity of camu-camu fruits harvested at different maturation stages during postharvest storage. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 43(1), e50997. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.50997>
 - Kalogeropoulos, N., Yannakopoulou, K., Gioxari, A., Chiou, A., & Makris, D. (2010). Polyphenol characterization and encapsulation in β -cyclodextrin of a flavonoidrich *Hypericum perforatum* (St John's wort) extract. *Food Science and Technology*, 43(6), 882-889. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.016>
 - Kamimura, J. A., Santos, E. H., Hill, L. E., & Gomes, C. L. (2014). Antimicrobial and antioxidant activities of carvacrol microencapsulated in hydroxypropyl-beta-cyclodextrin. *LWT - Food Science and Technology*, 57(2), 701–709. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.014>
 - Laleh, G., Frydoonar, H., Heidary, R., Jameei, R., & Zare, S. (2006). The effect of light, temperature, pH and species on stability of anthocyanin pigments in four *Berberis* species. *Pakistan Journal and Nutrition*, 5, 90-92. <https://scialert.net/abstract/?doi=pjn.2006.90.92>
 - López, L., Enriquez, S., & Gonzáles, A. (2021). Frutas tropicales y subproductos como fuente potencial de polisacáridos bioactivos. *Biocencia*, 23(3),125-132. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v23i3.1450>
 - MINCETUR (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo). (2021). Exportaciones de camu camu alcanzaron récord histórico

- en 2020. Nota de Prensa. <https://www.gob.pe/institucion/mincetur/noticias/345752-exportaciones-de-camu-camu-alcanzaron-record-historico-en-2020>
- Mourtzinou, I., Salta, F., Yannakopoulou, K., Chiou, A., & Karathanos, V. (2007). Encapsulation of Olive Leaf Extract in β -Cyclodextrin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 8088–8094. <https://doi.org/10.1021/jf0709698>
 - Özkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J., & Capanoglu, E. (2018). A Review of Microencapsulation Methods for Food Antioxidants: Principles, Advantages, Drawbacks and Applications. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2018.07.20
 - Özkan, M., Yemencioğlu, A., Asefi, N., & Cemeroglu, B. (2002). Degradation Kinetics of Anthocyanins from Sour Cherry, Pomegranate, and Strawberry Juices by Hydrogen Peroxide. *Journal of Food Science*, 67(2), 525–529. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10631.x>
 - Rahman, N., Shamsudin, R., Ismail, A., & Karim Shah, A. (2016). Effects of post-drying methods on pomelo fruit peels. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 85–90. DOI: 10.1007/s10068-016-0102-y
 - Samborska, K., Boostani, S., Geranpour, M., Hosseini, H., Dima, C., Khoshnoudi-Nia, S., & Jafari, S. M. (2021). Green biopolymers from by-products as wall materials for spray drying microencapsulation of phytochemicals. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 297–325. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.008>
 - Santos, I. L., Miranda, L. C. F., da Cruz, A. M., da Silva, L. H. M., & Amante, E. R. (2022). Camu-camu [*Myrciaria dubia* (HBK) McVaugh]: A review of properties and proposals of products for integral valorization of raw material. *Food Chemistry*. 372, 131290. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131290>.
 - Sepúlveda, C., & Zapata, J. (2019). Efecto de la Temperatura, el pH y el Contenido en Sólidos sobre los Compuestos Fenólicos y la Actividad Antioxidante del Extracto de *Bixa orellana* L.. *Información Tecnológica*, 30(5), 57-66. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500057>
 - Shiozawa, R., Inoue, Y., Murata, I., & Kanamoto, I. (2018). Effect of antioxidant activity of caffeic acid with cyclodextrins using ground mixture method. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2017.08.006>
 - Simsek, T., Rasulev, B., Mayer, C., & Simsek, S. (2020). Preparation and Characterization of Inclusion Complexes of β -Cyclodextrin and Phenolics from Wheat Bran by Combination of Experimental and Computational Techniques. *Molecules*, 25(18), 4275. <https://doi.org/10.3390/molecules25184275>
 - Villanueva-Tiburcio, J., Condezo-Hoyos, A., & Ramírez Asquiere, E. (2010). Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(1), 151-160. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000500023>
 - Zanatta, C. F., Cuevas, E., Bobbio, F. O., Winterhalter, P., & Mercadante, A. Z. (2005). Determination of anthocyanins from camu-camu

- (*Myrciaria dubia*) by HPLC–PDA, HPLC-MS and NMR. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 53 (24), 9531-9535. <https://doi.org/10.1021/jf051357v>
- Żyżelewicz, D., Oracz, J., Kaczmarska, M., Budryn, G., & Grzelczyk, J. (2018). Preparation and characterization of inclusion complex of (+)-catechin with β -cyclodextrin. *Food Research International*, 113, 263–268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.018>
 - Zhong, Y., Li, W., Ran, L., Hou, R., Han, P., Lu, S., Wang, Q., Zhao, W., Zhu, Y., & Dong, J. (2020). Inclusion complexes of tea polyphenols with HP- β -cyclodextrin: Preparation, characterization, molecular docking, and antioxidant activity. *Journal of Food Science*, 85(4), 1105–1113. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15083>