

# Efecto del secado con aire caliente en la humedad libre y el contenido de fenólicos totales de tres morfotipos de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pav.)

## *Effect of hot air drying on remaining water content and total phenolic content of three morphotypes of mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pav.)*

 Raquel N. Veliz-Sagarvinaga<sup>1</sup>

 Nelssi G. Chamorro-Diaz<sup>1</sup>

 Yaser M. Chavez-Solano<sup>1</sup>

 Heber P. Cornelio-Santiago<sup>2</sup>

 Karina S. Gutiérrez-Valverde<sup>3</sup>

heber.cornelio@ulcb.edu.pe 

1.- Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Huancavelica, Perú.

2.- Universidad Le Cordon Bleu. Lima, Perú.

3.- Laboratorio de Alimentos Funcionales y Bioprocesos, Universidad Nacional de Frontera. Piura, Perú.

Recibido: 03/07/2024

Revisado: 22/10/2024

Aceptado: 02/12/2024

Publicado: 10/01/2025

### RESUMEN

*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav. (mashua) es un tubérculo cultivado en zonas altoandinas como Huancavelica, con uso tradicional en la alimentación y potencial funcional por su contenido de compuestos bioactivos. Debido a su corta vida útil en fresco, se requiere su conservación. El secado por aire caliente, alternativa al secado solar, puede afectar la estabilidad de estos compuestos según la temperatura aplicada. Por tanto, el objetivo fue evaluar el efecto de la temperatura (50, 60, 70 y 80 °C) de secado con aire caliente en la humedad libre (Y) y el contenido de fenólicos totales (CFT) en tres morfotipos de mashua (Zapallo, Sangre de Cristo y Negra). Los tubérculos fueron lavados, desinfectados con hipoclorito de sodio (50 ppm), cortados (2,5 mm), y secados (150 g) durante 16 h. La humedad libre se determinó en las muestras secas. Luego, se molieron (partículas < 850 µm) y se prepararon extractos (metanol al 80 %, 50 mg/mL) para la determinación del CFT. La temperatura de secado influyó significativamente ( $p < 0,05$ ) en el CFT, a medida que se incrementó de 50 a 80 °C, y no influyó en la Y. El CFT variaron de  $1608 \pm 80,22$  a  $2069 \pm 82,01$ ,  $1732 \pm 59,43$  a  $2069 \pm 30,32$  y  $5286 \pm 143,74$  a  $7929 \pm 120,48$  mg equivalente de ácido gálico/100 g mashua seca para la Zapallo, Sangre de Cristo y Negra, respectivamente. Estos resultados indican que el secado con aire caliente a 60 °C puede ser usado para obtener mashua seca de la variedad Sangre de Cristo y Negra con mayor CFT, mientras que a 80 °C se preserva mejor el CFT para la variedad Zapallo.



**Palabras clave:** Fenólicos, compuestos bioactivos, deshidratación, tubérculo andino, Huancavelica.

## ABSTRACT

*Tropaeolum tuberosum* Ruíz y Pav. (mashua) is a tuber cultivated in Andean zones as Huancavelica, with traditional use in food and functional potential due to its content of bioactive compounds. Due to its short fresh shelf life, its preservation is required. Hot air drying, an alternative to solar drying, can affect the stability of these compounds depending on the temperature applied. Therefore, the objective was to evaluate the effect of temperature (50, 60, 70 and 80 °C) of hot air drying on remaining water content (Y) and total phenolic content (TPC) in three morphotypes of mashua (Zapallo, Sangre de Cristo and Negra). The tubers were washed, disinfected with sodium hypochlorite (50 ppm), cut (2.5 mm), and dried (150 g) for 16 h. Free moisture was determined in the dried samples. They were then ground (particles < 850 µm) and extracts (80% methanol, 50 mg/mL) were prepared for TPC determination. Drying temperature significantly ( $p < 0.05$ ) influenced the TPC as it increased from 50 to 80 °C, and did not influence the Y. TPC ranged from  $1608 \pm 80.22$  to  $2069 \pm 82.01$ ,  $1732 \pm 59.43$  to  $2069 \pm 30.32$  and  $5286 \pm 143.74$  to  $7929 \pm 120.48$  mg gallic acid equivalent/100 g dry mashua for Zapallo, Sangre de Cristo and Negra, respectively. These results indicate that hot air drying at 60 °C can be used to obtain dried mashua of the Sangre de Cristo and Negra varieties with higher TPC, while at 80 °C the TPC for the Zapallo variety is better preserved.

**Keywords:** Phenolics, bioactive compounds, dehydration, Andean tuber, Huancavelica.

## INTRODUCCIÓN

*Tropaeolum tuberosum* Ruíz y Pavón, comúnmente denominada mashua, ha sido tradicionalmente empleada tanto en la alimentación como en la medicina tradicional a lo largo de una amplia región andina que se extiende desde Colombia hasta el noroeste de Argentina. Sin embargo, evidencias arqueológicas provenientes del actual territorio peruano indican que la mashua fue consumida por poblaciones preincaicas hace más de 7 500 años, y su presencia ha sido registrada en la cerámica de las culturas Nasca y Chimú. En la actualidad, este tubérculo se cultiva en países como Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, y presenta una notable variabilidad fenotípica, que se manifiesta en tonalidades externas como naranja, amarillo pálido, anaranjado amarillento,

amarillo intenso, púrpura grisácea, púrpura oscura y rojo grisáceo. Asimismo, el color de la pulpa varía entre tonos de amarillo, naranja y violeta. Además, presenta yemas pigmentadas, que en ocasiones exhiben rayas púrpuras o rojas (Siqueira *et al.*, 2023 y Grau *et al.*, 2025).

La mashua ha sido ampliamente empleada en la medicina tradicional por sus propiedades digestivas, depurativas, cicatrizantes y diuréticas. Además, se utilizan en el tratamiento de enfermedades como la diabetes, el dengue, la fiebre palúdica y diversas afecciones posparto, especialmente en el tratamiento de trastornos renales. También se les atribuyen efectos preventivos frente a patologías como la hiperplasia prostática, úlceras dérmicas, gonorrea y amigdalitis. Por otra parte, su elevado contenido de glucosinolatos

le confiere propiedades antibacterianas, antimutagénicas, anticancerígenas y antifúngicas. Asimismo, su potente acción antioxidante está asociada a la alta concentración de compuestos fenólicos (Grau *et al.*, 2025 y Luziatelli *et al.*, 2023).

En la actualidad, este cultivo continúa siendo consumido por las poblaciones rurales y ha comenzado a ganar mayor aceptación en los mercados urbanos, debido a su versatilidad en la preparación de alimentos y su potencial en el procesamiento industrial. Entre sus aplicaciones se incluyen guisos, cremas, sopas, gachas (mazamoras/coladas), panacota con leche y mashua en salsa de nueces, galletas con caviar de rocoto y mayonesa de palta, cocido boyacense, jugo embotellado de mashua y piña, mermelada de mashua negra, secado de mashua, producción de harina y snacks de segunda generación (Grau *et al.*, 2025; Leidi *et al.*, 2018; Luziatelli *et al.*, 2023; Zambrano *et al.*, 2025 y Acurio *et al.*, 2023).

La mashua también se destaca por su alto contenido de nutrientes, fitoquímicos y pigmentos naturales con propiedades antioxidantes (Betalleluz-Pallardel *et al.*, 2012; Campos *et al.*, 2006; Costa, *et al.*, 2008; Warnier, *et al.*, 2008; Chirinos *et al.*, 2006, 2015; Pacheco *et al.*, 2019 y Paucar-Menacho *et al.*, 2020), lo que la convierte en un ingrediente funcional de elevado valor comercial. Sin embargo, su elevado contenido de agua (entre 74,51 a 92g/ 100g de mashua fresca) (Campos *et al.*, 2006; Castañeta *et al.*, 2024 y Coloma *et al.*, 2022) limita su vida útil, lo que ha motivado el interés por estudiar métodos de conservación y sus parámetros que permitan prolongarla, minimizando al mismo tiempo el impacto sobre los compuestos de interés.

La mashua seca se ha obtenido usando aire caliente a 60 °C entre 6 a 24 h y entre 1,8 a 2 m/s de velocidad del aire en un deshidratador convectivo como parte de la obtención de harina de mashua seca, harina para producir snack de segunda generación (Acurio *et al.*, 2023, 2025) o como tratamiento previo a la caracterización de la mashua (Aguilar-Galvez *et al.*, 2022 y Salazar *et al.*, 2021).

El secado constituye uno de los métodos más consolidados y ampliamente utilizados para la conservación de alimentos, permitiendo la extensión de su vida útil y la reducción del desperdicio de productos frescos (Berk, 2018 y Onwude *et al.*, 2022). Este proceso se basa en la reducción del contenido de agua a niveles que aseguran la estabilidad microbiológica del producto. Además, el secado inhibe el crecimiento de microorganismos y desacelera las reacciones químicas indeseables, contribuyendo asimismo a la disminución de los costos de almacenamiento y transporte mediante la reducción del peso y volumen del producto final (Castillo-Zapata *et al.*, 2024).

Las industrias en los países en desarrollo aún siguen prefiriendo el secado con aire caliente, considerado una operación de bajo costo y un método sencillo, en el que los alimentos sólidos se exponen directamente al aire caliente en la cámara de secado (Castillo-Zapata *et al.*, 2024 y Kerr, 2019), no obstante, el contenido de fenólicos totales (CFT) de los alimentos puede verse afectado por la temperatura del secado.

Varios estudios han utilizado el método colorimétrico basado en el reactivo de Folin-Ciocalteu para evaluar el CFT. Su preferencia frente a otros métodos suele

justificarse por su reconocida fiabilidad, respaldada por un amplio historial de uso y por su aceptación general en la comunidad científica. Además, es más económico que otras técnicas analíticas, lo que lo hace accesible para investigadores con recursos limitados. Su simplicidad y aplicabilidad lo convierten en una de las herramientas más utilizadas para el análisis de compuestos fenólicos en la industria alimentaria (Li *et al.*, 2025).

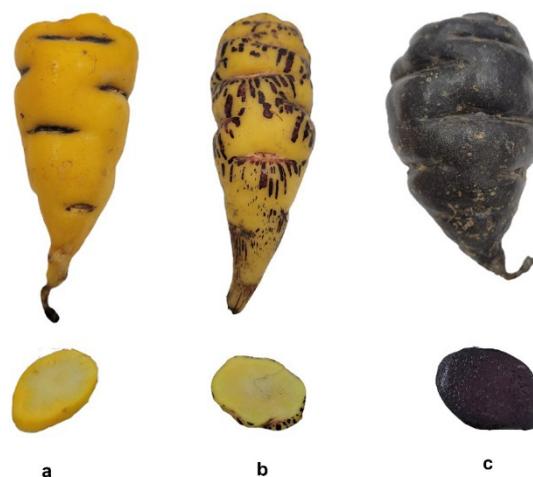
Algunos estudios reportaron CFT en la mashua liofilizada (Behar *et al.*, 2021; Campos *et al.*, 2006; Castañeta *et al.*, 2024; Costa, *et al.*, 2008; Campos, *et al.*, 2007; Warnier, *et al.*, 2008; Chirinos *et al.*, 2006; Rogez, *et al.*, 2007; Choquechambi *et al.*, 2019; Coloma *et al.*, 2022; Jacobo-

Velázquez *et al.*, 2022 y Pacheco *et al.*, 2020) y seca con aire caliente (Acurio *et al.*, 2025 y Salazar *et al.*, 2021), pero aún no se reportaron estudios del efecto del secado a diferentes temperaturas para la mashua de los morfotipos zapallo, Sangre de Cristo y negra. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la temperatura (50, 60, 70, 80 y 90 °C) de secado con aire caliente en la humedad libre y el CFT de mashua morfotipo zapallo, sangre de cristo y negra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

La mashua (Figura 1) procedente del centro poblado “Carpapata”, distrito de Colcabamba, Tayacaja, Huancavelica, Perú.



**Figura 1.** Morfotipos de mashua entera y en rodajas: a) zapallo, b) sangre de cristo y c) negra.

### Preparación de la materia prima

Los tres morfotipos de mashua fueron lavados con agua potable y desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm. Posteriormente, los residuos de hipoclorito fueron eliminados mediante un enjuague con agua potable. Finalmente, los tubérculos se cortaron en rodajas de 2,5 cm de espesor y se colocaron sobre bandejas de secado.

### Secado de la mashua

Las rodajas de los tres morfotipos de mashua fueron secadas utilizando un deshidratador de aire forzado (AISTAN, modelo ST04, China). Se evaluaron temperaturas de 50, 60, 70 y 80 °C, seleccionadas con base en un estudio previo realizado por nuestro grupo de investigación (Castillo-Zapata *et al.*, 2024). Para cada condición, se colocaron

aproximadamente 150 g de mashua fresca en rodajas y se sometieron a secado durante 16 h, con una velocidad de aire constante de 2,5 m/s. Cada tratamiento fue realizado por triplicado.

### **Molido y tamizado de la mashua seca**

Los tres morfotipos de mashua, previamente deshidratados a diversas temperaturas, fueron triturados de forma individual durante 3 minutos utilizando un molino de cuchillas. Luego, el material pulverizado se sometió a un tamizado empleando una malla de 850  $\mu\text{m}$ . Las fracciones que atravesaron el tamiz fueron almacenadas en bolsas herméticas hasta su utilización.

### **Obtención de los extractos de la mashua**

Los extractos fueron obtenidos conforme al protocolo descrito por (Castillo-Zapata *et al.*, 2024). Se pesaron aproximadamente 2 g de mashua seca finamente molida y se extrajeron con 40 mL de metanol al 80 % (v/v). La mezcla fue homogenizada en un agitador magnético a 1 000 rpm durante 20 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, se centrifugó a 4 500 rpm por 20 minutos, y se recolectó el sobrenadante correspondiente al extracto (compuesto por solutos disueltos en el disolvente).

### **Determinación del contenido de fenólicos totales**

La determinación del CFT se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito por (Castillo-Zapata *et al.*, 2024). En tubos de ensayo de 10 mL, se mezclaron 1,364 mL de agua destilada, 300  $\mu\text{L}$  del extracto previamente diluido y 136  $\mu\text{L}$  del reactivo de Folin-Ciocalteu. La mezcla fue agitada suavemente y mantenida en reposo durante 8 minutos a temperatura ambiente, protegida de la luz. Posteriormente, se adicionaron 1,2

mL de una solución de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al 7,5 % (p/v), se homogeneizó nuevamente y se incubó durante 2 horas bajo las mismas condiciones. La absorbancia de las soluciones se midió a una longitud de onda de 760 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Visible (Genesys 150, Thermo Scientific, EE. UU.). La cuantificación del CFT se realizó mediante una curva de calibración construida con soluciones estándar de ácido gálico en concentraciones de 10, 20, 30, 40, 50 y 60  $\mu\text{g/mL}$ . Los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico (mg EAG) por 100 g de mashua seca.

### **Análisis estadístico**

El CFT fue evaluado mediante un análisis de varianza (ANOVA), seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, empleando un nivel de significancia del 5 % ( $p < 0.05$ ). El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software RStudio (versión 2021). Adicionalmente, los datos correspondientes a la humedad libre y a la elaboración de la curva estándar fueron procesados con el software Origin Pro 2025 (SR1, v10.2.0.196).

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **Efecto de la temperatura de secado en la humedad libre de la mashua**

En la Figura 2 se observa el efecto de la temperatura de secado sobre la humedad libre (kg de agua/kg de sólido seco) de tres morfotipos de mashua: zapallo, Sangre de Cristo y negra. Se obtuvieron valores de humedad libre de 0,0228 a 0,0042, 0,0216 a 0,0066 y 0,0217 a 0,0076 kg de agua/kg de mashua seca para zapallo, Sangre de Cristo y negra, respectivamente, en el rango de temperaturas de 50 a 80 °C.

A 80 °C y 16 h, el morfotipo zapallo presentó la menor humedad libre (0.0042

kg de agua/kg de sólido seco), seguido por Sangre de Cristo (0,0066 kg de agua/kg de sólido seco) y negra (0,0076 kg de agua/kg de sólido seco). A temperaturas de 60 y 70 °C, los tres morfotipos mostraron un comportamiento similar, mientras que, a 50 °C, zapallo alcanzó un valor ligeramente superior al de los otros dos morfotipos (Figura 2).

Cabe señalar que, en todos los casos, la humedad libre final se mantuvo por debajo del límite máximo permitido para productos secos procesados en forma de harina (15 %, equivalente a 0,1765 kg de agua/kg de sólido seco), según lo establecido por el Codex Alimentarius (1985).

Para una carga de 200 g de mashua fresca cortada en rodajas de 2,5 cm de espesor, un tiempo de secado de 16 h y una velocidad de aire de 2,5 m/s fueron condiciones suficientes para reducir la humedad libre en los tres morfotipos hasta niveles compatibles con un producto deshidratado, según criterios de estabilidad microbiológica y reducción de reacciones químicas de deterioro (Ibarz y Ribas, 2005). Esto, además, contribuye a disminuir los costos asociados al transporte y almacenamiento (Bahnasawy y Shenana, 2004).

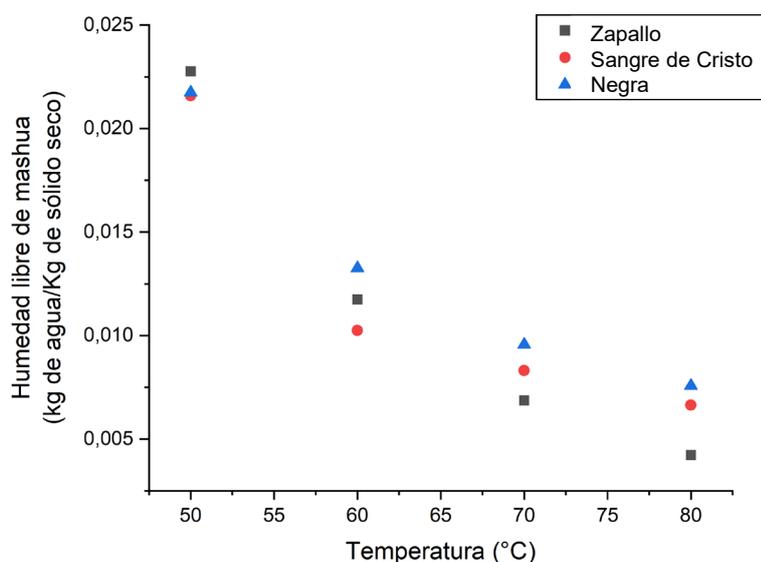
Otros estudios han reportado valores similares. Acurio *et al.* (2025) informaron una humedad libre de 0,064 kg de agua/kg de sólido seco en mashua en rodajas de 2 cm, secada a 60 °C durante 24 h, con una velocidad de aire de 2 m/s, resultado comparable a los obtenidos en este estudio bajo condiciones similares. Estas diferencias pueden atribuirse a la humedad inicial y al morfotipo empleado.

En contraste, Salazar *et al.* (2021) reportaron un valor superior (0,2326 kg de agua/kg de sólido seco, equivalente al 18,87 % de humedad para mashua en rodajas de 3 cm, secadas a 60 °C durante 6 h, lo que indica que el espesor del corte y el tiempo de secado influyeron en la retención de humedad, y es probable que la velocidad del aire también influyó en el proceso de secado.

En cuanto a la humedad en mashua fresca, se registraron valores de  $88 \pm 0,5$  % para el morfotipo zapallo, y  $90 \pm 0,5$  % para los morfotipos sangre de Cristo y negra. Estos valores son ligeramente superiores a los reportados por Coloma *et al.* (2022) para mashua morada (74,51 a 89,72 %), amarilla (82,86 a 87,81 %) y amarillo-morado (76.11 a 83.48 %); por Castañeta *et al.* (2024) para los morfotipos santo jonk'ori (81,5 %), Achakani (83 %) y ch'iyara (80,3 %); y por Campos *et al.* (2006) para mashuas amarillo-amarilla (87 a 92 %), morado-amarillo (85 a 89 %), morado-morado (87 %) y amarillo-morado-morado (86 %). Esto confirma que la humedad en la mashua fresca está influenciado por el morfotipo, el genotipo y las condiciones ecológicas del cultivo.

### **Efecto de la temperatura de secado en el contenido de fenólicos totales de la mashua**

En la Tabla 1 se muestran los resultados del CFT en mashuas de los morfotipos zapallo, Sangre de Cristo y negra, sometidas a secado a temperaturas de 50, 60, 70 y 80 °C. En el morfotipo zapallo, el CFT varió entre  $1\,523 \pm 61,83$  y  $2\,069 \pm 82,01$  mg EAG/100 g de mashua seca. Para Sangre de Cristo, los valores fluctuaron entre  $1\,732 \pm 59,43$  y  $2\,069$



**Figura 2.** Efecto de la temperatura de secado en la humedad libre (kg de agua/kg de sólido seco) de la mashua zapallo, sangre de Cristo y negra.

$\pm 30,32$  mg EAG/100 g, mientras que en el morfotipo negra se observaron los valores más altos, con un rango de  $5\ 286 \pm 143,74$  a  $7\ 929 \pm 120,48$  mg EAG/100 g, según la temperatura de secado aplicada (Tabla 1), aportado principalmente por las antocianinas presentes en la mashua negra (Coloma *et al.* (2022)).

Los resultados obtenidos revelan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el CFT entre los diferentes morfotipos de mashua. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el CFT entre los morfotipos Sangre de Cristo y Zapallo a las temperaturas de secado de 50 y 80 °C.

En cuanto a la influencia de la temperatura, se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el CFT entre las temperaturas de 50, 60, 70 y 80 °C. Para el morfotipo Negra, no se encontraron diferencias significativas entre 60 y 70 °C, aunque sí se observaron diferencias entre 50, 60 o 70 °C respecto a 80 °C. En el morfotipo Sangre de Cristo, se evidenció

una diferencia significativa entre 50 y 60 °C, pero no entre 60, 70 y 80 °C, ni entre 50, 70 y 80 °C. Por su parte, el morfotipo Zapallo mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el CFT entre las temperaturas evaluadas (50, 60, 70 y 80 °C), excepto entre 50 y 70 °C, y entre 60 y 70 °C, donde no se detectaron diferencias estadísticas.

En los morfotipos Negra y Sangre de Cristo, se observó un aumento del CFT al incrementar la temperatura de secado de 50 a 60 °C, lo que podría atribuirse a una mayor concentración de compuestos fenólicos debido a la pérdida de agua. Además, el aumento de temperatura puede provocar la ruptura de enlaces covalentes, lo que favorece la liberación de compuestos fenólicos ligados a la matriz celular (Onwude *et al.*, 2022).

No obstante, a temperaturas superiores (70 y 80 °C), se evidenció una disminución mínima del CFT en el morfotipo Sangre de Cristo y una disminución más notable en el morfotipo

Negra. Esta reducción probablemente está asociada a la degradación térmica de algunos compuestos fenólicos termolábiles presentes en estos morfotipos, principalmente a la degradación de antocianinas en el morfotipo Negra.

En contraste, el morfotipo Zapallo presentó una disminución del CFT entre 50 y 60 °C, lo cual podría estar relacionado con la actividad del polifenol oxidasa, una enzima termoestable que permanece

activa hasta temperaturas cercanas a 60 °C. Esta enzima puede catalizar la oxidación de compuestos fenólicos, reduciendo su concentración en la muestra (Onwude *et al.*, 2022). Una vez inactivada la enzima a temperaturas superiores a 60 °C, se evidenció un aumento en el CFT a 70 y 80 °C, probablemente debido a la liberación de compuestos fenólicos no degradados por la acción enzimática y la concentración de compuestos fenólicos termorresistentes.

**Tabla 1.**

*Efecto de la temperatura de secado con aire caliente en el contenido de fenólicos totales (CFT) de la mashua morfotipo zapallo, sangre de cristo y negra*

Morfotipo de mashua	Temperatura (°C)	CFT* (mg EAG/100 g mashua seca)
Zapallo	50	1792.4 ± 6.9 <sup>B;b</sup>
	60	1523.3 ± 61.8 <sup>C;c</sup>
	70	1607.6 ± 80.2 <sup>C;bc</sup>
	80	2069.5 ± 82.0 <sup>B;a</sup>
Sangre de Cristo	50	1732.1 ± 59.4 <sup>B;b</sup>
	60	2069.5 ± 30.3 <sup>B;a</sup>
	70	1932.9 ± 96.6 <sup>B;ab</sup>
	80	1932.9 ± 18.4 <sup>B;ab</sup>
Negra	50	5286.3 ± 143.7 <sup>A;c</sup>
	60	7928.9 ± 120.5 <sup>A;a</sup>
	70	7768.3 ± 283.2 <sup>A;a</sup>
	80	6543.4 ± 150.9 <sup>A;b</sup>

Los datos se presentan como media ± desviación estándar. Las letras en superíndice iguales denotan que no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según el análisis de Tukey.

En comparación con los resultados obtenidos en el presente estudio a 60 °C (Tabla 1), se reportaron valores menores de CFT para la mashua seca obtenida a 60 °C durante 24 h con una velocidad de aire de 2 m/s (450 mg EAG/100 g) (Acurio *et al.*, 2025) y para la mashua seca tratada a la misma temperatura durante 6 h (6,8 mg

EAG/100 g) (Salazar *et al.*, 2021). Estas diferencias reflejan no solo la influencia de las condiciones de secado sobre la retención o degradación de los compuestos fenólicos, sino también la incidencia de la procedencia y las características del cultivo. En particular, en el caso del menor valor reportado, factores como la humedad

final del producto, la velocidad del flujo de aire y el tipo de extracción podrían haber contribuido a la disminución del CFT.

Por otro lado, se han reportado valores de CFT diferentes a los obtenidos en este estudio en comparación con mashuas liofilizadas. Jacobo-Velázquez *et al.* (2022) indicaron que los CFT en veintisiete morfotipos de mashua peruana variaron entre 162,54 mg EAG/100 g (MAC 090 – color blanco, región Apurímac) y 1 316,16 mg EAG/100 g (MAC 092 – color negro, región Ayacucho).

De manera similar, Coloma *et al.* (2022) reportaron que los CFT en mashua de color morado fluctuaron entre 385 y 1 143 mg EAG/100 g de materia seca; en amarilla, entre 182 y 405 mg/100 g de materia seca; y en amarillo con ojos morados, entre 116 y 225 mg/100 g de materia seca.

Behar *et al.* (2021) señalaron que los CFT en seis accesiones de mashua fresca variaron entre 77,48 y 220,83 mg EAG/100 g, siendo Tt-19 (cáscara/pulpa: amarillo/amarillo) y Tt-23 (cáscara/pulpa: morado/morado) las accesiones extremas.

Por su parte, Castañeta *et al.* (2024) informaron valores de CFT de 260, 200 y 1 170  $\mu$ mol EAG/100 g de muestra fresca para las variedades Santo Jonk'ori, Achakani y Ch'iyara, respectivamente.

Asimismo, Choquechambi *et al.* (2019) reportaron los siguientes valores de CFT, expresados como mg de equivalentes de ácido clorogénico (EAC)/100 g de materia seca: Kellu (amarillo), 790 mg; Chejchi (amarillo, ojos negros), 1 190 mg; Chiar (negro), 2 230 mg; Kellu (amarillo), 1 280 mg; Keni Kellu (amarillo-morado), 1 310 mg; Jachir (amarillo, rayas rojas), 970

mg; y Asuthi (amarillo, rayas moradas), 800 mg; en mashua procedentes de Perú y Bolivia.

También se han reportado valores de CFT diferentes en mashua liofilizada en comparación con los hallados en el presente estudio. Campos *et al.* (2006) informaron que el CFT en 11 genotipos de mashua fresca varió entre 92 y 337 mg EAG/100 g, siendo los genotipos ARB-5241 (337 mg EAG/100 g), DP-0224 (305 mg EAG/100 g) y AGM-5 109 (275 mg EAG/100 g) los que presentaron los valores más elevados.

Por su parte, Chirinos *et al.* (2006) reportaron valores de CFT para los genotipos ARB-5 241 (374,4 mg EAG/100 g), DP-0224 (131,9 mg EAG/100 g) y AGM-5109 (45.5 mg EAG/100 g), todos en base fresca. Asimismo, Rogez, *et al.* (2007) informaron valores máximos de CFT en materia seca para ARB-5241 (2 200 mg EAG/100 g) y DP-0224 (1 710 mg EAG/100 g).

De manera similar, Campos, *et al.* (2007) reportaron valores de CFT en un rango de 1 400 a 2 400 mg EAG/100 g de materia seca para los cultivares ARB-5241, DP-0224 y AGM-5109. Posteriormente, Costa, *et al.* (2008) reportaron valores de CFT en mashua fresca para los genotipos ARB-5241 (cáscara/pulpa, morado/amarillo) con 395 mg EAG/100 g, DP-0224 (piel/pulpa, morado/morado) con 262 mg EAG/100 g, y ARB-5576 (cáscara/pulpa, amarilla/amarilla) con 52,2 mg EAG/100 g.

Adicionalmente, Warnier, *et al.* (2008) reportaron los siguientes valores de CFT en mashua fresca: ARB-5241 (323 mg EAG/100 g; humedad: 83,4 %),

DP-0224 (205 mg EAG/100 g; humedad: 84,2 %), AGM-5109 (166 mg EAG/100 g; humedad: 87.0%) y ARB-5576 (56.3 mg EAG/100 g; humedad: 87,1 %).

Finalmente, Campos *et al.* (2018), analizaron 84 genotipos de mashua, encontrando valores de CFT en materia seca que variaron entre 550 y 1 670 mg EAG/100 g.

En general, los resultados obtenidos en este estudio, así como los reportados por otros autores, evidencian que los morfotipos de mashua de color negro, morado o con pigmentaciones oscuras tienden a presentar valores más elevados de CFT en comparación con aquellos de color amarillo o con bicoloraciones claras. Asimismo, la zona de procedencia del cultivo influye significativamente en el CFT, como ha sido demostrado en mashuas provenientes de distintas zonas agroecológicas de la región de Puno (Coloma *et al.* (2022). Además, los valores de CFT dependen de factores como el genotipo, el tipo de disolvente, el nivel de pH, la relación disolvente-agua y el tiempo de extracción (Rogez, *et al.*, 2007).

En comparado con otros vegetales, el morfotipo de mashua negra presenta un CFT que se encuentra entre los valores reportados para maqui (*Aristotelia chilensis*) (3 190 mg/ 100 g de materia seca) (Quispe-Fuentes *et al.*, 2018), aronia (*Aronia melanocarpa*) (2 190 mg EAG/100 g de fruta fresca y 9400 mg EAG/ 100g de fruta seca) (Kaloudi *et al.*, 2022) y camu camu (12 798,80 mg GAE/ 100g de fruta fresca) (García-Chacón *et al.*, 2023), especies ampliamente reconocidas por su alta capacidad antioxidante y clasificadas como superalimentos.

La mashua negra utilizada en esta investigación presenta características

morfológicas similares, en cuanto a forma, a la mashua negra de la colección AGM-5118 (centro poblado Lingán Grande, Chota, Cajamarca), y en cuanto a color, a la mashua yana ojo de la colección CM DPA 02 24 (centro poblado Socorro, Ninacaca, Pasco). Es posible que esta mashua represente una nueva colección, lo cual concuerda con lo señalado por (Campos *et al.*, 2018), quienes sugieren que probablemente existan muchas más, dada la gran variabilidad de los genotipos en términos de forma y color, variabilidad que parece estar correlacionada con el contenido de sus compuestos bioactivos.

## CONCLUSIONES

El secado de mashua a temperaturas comprendidas entre 50 y 80 °C, durante 16 h y con una velocidad de aire de 2.5 m/s, permitió reducir la humedad libre de los morfotipos zapallo, Sangre de Cristo y negra por debajo del límite establecido por el Codex Alimentarius (0,1765 kg agua/kg sólido seco). El morfotipo zapallo presentó el menor contenido agua remanente (0,0042 kg/kg). Las diferencias observadas entre morfotipos y en comparación con estudios previos se atribuyen a variables como el espesor de corte, tiempo y velocidad de secado, así como a la humedad inicial del tubérculo. Asimismo, se confirmó que la humedad en mashua fresca está condicionado por el morfotipo, genotipo y las condiciones agroecológicas, factores que deben considerarse para la optimización de procesos industriales de secado.

Por otro lado, el CFT mostró variaciones significativas en función del morfotipo y la temperatura de secado. El morfotipo negra exhibió los valores más elevados de CFT, atribuidos a su

elevado contenido de antocianinas. La temperatura de secado de 60 °C favoreció la concentración de compuestos fenólicos en la mayoría de los morfotipos, mientras que temperaturas superiores provocaron una degradación parcial de compuestos termolábiles. El comportamiento del CFT estuvo influenciado por la actividad enzimática, especialmente el polifenol oxidasa, y por la deshidratación de la matriz vegetal. Las discrepancias observadas

respecto a estudios previos se explican por variaciones en genotipo, procedencia, condiciones de secado y métodos de extracción. Estos resultados destacan el potencial del morfotipo negra como fuente rica en compuestos fenólicos, con niveles comparables a los de superalimentos reconocidos, lo que subraya la importancia de continuar investigando la mashua para aplicaciones como nutraceuticos o ingredientes de productos funcionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio, L., Salazar, D., Castillo, B., Santiana, C., Martínez-Monzó, J., y Igual, M. (2023). Characterization of Second-Generation Snacks Manufactured from Andean Tubers and Tuberous Root Flours. *Foods*, 13(1), 51. <https://doi.org/10.3390/FOODS13010051>
- Acurio, L., Salazar, D., Guanoquiza, I., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., y Igual, M. (2025). Ecuadorian roots flours: Bioactive compounds and processing properties. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101740. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2025.101740>
- Aguilar-Galvez, A., García-Ríos, D., Lindo, J., Ramírez-Guzmán, D., Chirinos, R., Pedreschi, R., y Campos, D. (2022). Impact of cold storage followed by drying of mashua tuber (*Tropaeolum tuberosum*) on the glucosinolate content and their transformation products. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(12), 7797–7805. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16088>
- Bahnasawy, A. H., y Shenana, M. E. (2004). A mathematical model of direct sun and solar drying of some fermented dairy products (*Kishk*). *Journal of Food Engineering*, 61(3), 309–319. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00134-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00134-1)
- Behar, H., Reategui, O., Liviach, D., Arcos, J., y Best, I. (2021). Phenolic compounds and in vitro antioxidant activity of six accessions of mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. & P.) from Puno Region, Peru. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(3), 9707–9714. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n3.93020>
- Berk, Z. (2018). Dehydration. *Food Process Engineering and Technology*, 513–566. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812018-7.00022-1>
- Betalalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Rogez, H., Pedreschi, R., y Campos, D. (2012). Phenolic compounds from Andean mashua (*Tropaeolum tuberosum*) tubers display protection against soybean oil oxidation. *Food Science and Technology International*, 18(3), 271–280. <https://doi.org/10.1177/1082013211427794>

- Campos, D., Chirinos, R., Gálvez Ranilla, L., y Pedreschi, R. (2018). Bioactive Potential of Andean Fruits, Seeds, and Tubers. *Advances in Food and Nutrition Research*, 84, 287–343. <https://doi.org/10.1016/BS.AFNR.2017.12.005>
- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W., y Cisneros-Zevallos, L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(10), 1481–1488. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2529>
- Castañeta, G., Miranda-Flores, D., Bascopé, M., y Peñarrieta, J. M. (2024). Characterization of carotenoids, proximal analysis, phenolic compounds, anthocyanidins and antioxidant capacity of an underutilized tuber (*Tropaeolum tuberosum*) from Bolivia. *Discover Food*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/S44187-024-00078-8/FIGURES/4>
- Castillo-Zapata, K. C., Reyes-Díaz, J. D., Cornelio-Santiago, H. P., Espinoza-Espinoza, L. A., Valdiviezo-Marcelo, J., y Ruiz-Flores, L. A. (2024). Efecto del secado con aire caliente en el contenido de fenólicos totales y capacidad antioxidante de la cáscara de pitahaya roja (*Hylocereus guatemalensis*). *Revista de Investigaciones de La Universidad Le Cordon Bleu*, 11(2), 97–106. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2024v11n2.009>
- Chirinos, R., Campos, D., Arbizu, C., Rogez, H., Rees, J., Larondelle, Y., Noratto, G., y Cisneros-Zevallos, L. (2007). Effect of genotype, maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity, of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(3), 437–446. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2719>
- Chirinos, R., Campos, D., Betalleluz, I., Giusti, M. M., Schwartz, S. J., Tian, Q., Pedreschi, R., y Larondelle, Y. (2006). High-Performance Liquid Chromatography with Photodiode Array Detection (HPLC–DAD)/HPLC–Mass Spectrometry (MS) Profiling of Anthocyanins from Andean Mashua Tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón) and Their Contribution to the Overall Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(19), 7089–7097. <https://doi.org/10.1021/jf0614140>
- Chirinos, R., Campos, D., Costa, N., Arbizu, C., Pedreschi, R., y Larondelle, Y. (2008). Phenolic profiles of andean mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers: Identification by HPLC-DAD and evaluation of their antioxidant activity. *Food Chemistry*, 106(3), 1285–1298. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.07.024>
- Chirinos, R., Campos, D., Warnier, M., Pedreschi, R., Rees, J. F., y Larondelle, Y. (2008). Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. *Food Chemistry*, 111(1), 98–105. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2008.03.038>

- Chirinos, R., Pedreschi, R., Cedano, I., y Campos, D. (2015). Antioxidants from Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) Control Lipid Oxidation in Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil and Raw Ground Pork Meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2612–2619. <https://doi.org/10.1111/JFPP.12511;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- Chirinos, R., Rogez, H., Campos, D., Pedreschi, R., y Larondelle, Y. (2007). Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers. *Separation and Purification Technology*, 55(2), 217–225. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2006.12.005>
- Choquechambi, L. A., Callisaya, I. R., Ramos, A., Bosque, H., Mújica, A., Jacobsen, S. E., Sørensen, M., y Leidi, E. O. (2019). Assessing the Nutritional Value of Root and Tuber Crops from Bolivia and Peru. *Foods*, 8(11), 526. <https://doi.org/10.3390/FOODS8110526>
- Coloma, A., Flores-Mamani, E., Quille-Calizaya, G., Zaira-Churata, A., Apaza-Ticona, J., Calsina-Ponce, W. C., Huata-Panca, P., Inquilla-Mamani, J., y Huanca-Rojas, F. (2022). Characterization of Nutritional and Bioactive Compound in Three Genotypes of Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón) from Different Agroecological Areas in Puno. *International Journal of Food Science*, (1), 7550987. <https://doi.org/10.1155/2022/7550987>
- García-Chacón, J. M., Marín-Loaiza, J. C., y Osorio, C. (2023). Camu Camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh): An Amazonian Fruit with Biofunctional Properties-A Review. *ACS Omega*, 8(6), 5169–5183. [https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.2C07245/ASSET/IMAGES/LARGE/AO2C07245\\_0003.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.2C07245/ASSET/IMAGES/LARGE/AO2C07245_0003.JPEG)
- Grau, A., Andrade, N. J. P., y Sørensen, M. (2025). Traditional uses, processes, and markets: the case of Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.). *Traditional Products and Their Processes*, 269–278. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90844-3.00009-3>
- Jacobo-Velázquez, D. A., Peña-Rojas, G., Paredes-Avila, L. E., Andía-Ayme, V., Torres-Contreras, A. M., y Herrera-Calderon, O. (2022). Phytochemical Characterization of Twenty-Seven Peruvian Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) Morphotypes and the Effect of Postharvest Methyl Jasmonate Application on the Accumulation of Antioxidants. *Horticulturae*, 8(6), 471. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE8060471>
- Kaloudi, T., Tsimogiannis, D., y Oreopoulou, V. (2022). Aronia Melanocarpa: Identification and Exploitation of Its Phenolic Components. *Molecules*, 27(14), 4375. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27144375>
- Kerr, W. L. (2019). Food Drying and Evaporation Processing Operations. Editor(s): Myer Kutz (Third Edition) Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering, 353–387. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814803-7.00014-2>

- Leidi, E. O., Altamirano, A. M., Mercado, G., Rodríguez, J. P., Ramos, A., Alandia, G., Sørensen, M., y Jacobsen, S. E. (2018). Andean roots and tubers crops as sources of functional foods. *Journal of Functional Foods*, 51, 86–93. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2018.10.007>
- Li, H., Nunekpeku, X., Adade, S. Y.-S. S., Sheng, W., Kwadzokpui, B. A., Ahlivia, E. B., y Chen, Q. (2025). Phenolic compounds detection and quantification in whole grains: A comprehensive review of recent advancements in analytical methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 187, 118215. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2025.118215>
- Luziatelli, G., Alandia, G., Rodríguez, J. P., Manrique, I., Jacobsen, S. E., y Sørensen, M. (2023). Ethnobotany of Andean minor tuber crops: tradition and innovation—Oca (*Oxalis tuberosa* Molina—Oxalidaceae), Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.—Tropaeoleaceae) and Ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas—Basellaceae). *Varieties and Landraces: Cultural Practices and Traditional Uses: Volume 2: Underground Starchy Crops of South American Origin: Production, Processing, Utilization and Economic Perspectives*, 2, 79–100. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90057-7.00009-7>
- Onwude, D. I., Iranshahi, K., Rubinetti, D., Schudel, S., Schemminger, J., Martynenko, A., y Defraeye, T. (2022). How much do process parameters affect the residual quality attributes of dried fruits and vegetables for convective drying? *Food and Bioproducts Processing*, 131, 176–190. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2021.11.005>
- Pacheco, M. T., Escribano-Bailón, M. T., Moreno, F. J., Villamiel, M., y Dueñas, M. (2019). Determination by HPLC-DAD-ESI/MSn of phenolic compounds in Andean tubers grown in Ecuador. *Journal of Food Composition and Analysis*, 84, 103258. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2019.103258>
- Pacheco, M. T., Hernández-Hernández, O., Moreno, F. J., y Villamiel, M. (2020). Andean tubers grown in Ecuador: New sources of functional ingredients. *Food Bioscience*, 35, 100601. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2020.100601>
- Paucar-Menacho, L. M., Peñas, E., Hernandez-Ledesma, B., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2020). A comparative study on the phenolic bioaccessibility, antioxidant and inhibitory effects on carbohydrate-digesting enzymes of maca and mashua powders. *LWT*, 131, 109798. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109798>
- Quispe-Fuentes, I., Vega-Gálvez, A., & Aranda, M. (2018). Evaluation of phenolic profiles and antioxidant capacity of maqui (*Aristotelia chilensis*) berries and their relationships to drying methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), 4168–4176. <https://doi.org/10.1002/JSFA.8938;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- Salazar, D., Arancibia, M., Ocaña, I., Rodríguez-Maecker, R., Bedón, M., López-Caballero, M. E., y Montero, M. P. (2021). Characterization and Technological Potential of Underutilized Ancestral Andean Crop Flours from Ecuador, *Agronomy* 11(9), 1693. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11091693>

Siqueira, M. V. B. M., do Nascimento, W. F., Pereira, D. A., Cruz, J. G., Vendrame, L. P. de C., y Veasey, E. A. (2023). Origin, domestication, and evolution of underground starchy crops of South America. *Starchy Crops Morphology, Extraction, Properties and Applications: Vol 1: Underground Starchy Crops of South American Origin: Production, Processing, Utilization and Economic Perspectives*, 1, 17–42. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90058-4.00011-6>

Zambrano, J. L. A., de Oliveira Paulino, F., y da Cruz, D. D. (2025). Roots and tubers in Colombia's culinary and food traditions. *Traditional Starch Food Products: Application and Processing*, 4(4), 113–127. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90844-3.00012-3>

#### **Declaración de roles de autores**

- Veliz-Sagarvinaga R. N.: Conceptualización; metodología; análisis de datos y escritura.
- Chamorro-Diaz N. G.: Conceptualización; metodología; análisis de datos y escritura.
- Chavez-Solano Y. M.: Conceptualización; metodología; análisis de datos y escritura.
- Cornelio-Santiago H. P.: Conceptualización; escritura; estadística; revisión y edición.
- Gutiérrez-Valverde K. S.: Conceptualización; revisión y edición.

#### **Financiamiento de la investigación/ Agradecimientos**

Expresamos nuestro agradecimiento al Laboratorio de Investigación de Alimentos Funcionales y Bioingeniería de la Universidad Nacional de Frontera por las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación en el marco de una pasantía de investigación autofinanciada.