

# Influencia de la variedad y del método de conservación en los compuestos bioactivos de la pulpa y cáscara de cereza de café (*Coffea arabica*)

## Influence of variety and preservation method on bioactive compounds in coffee (*Coffea arabica*) cherry pulp and husk

Melquiades Barragán-Condori<sup>1</sup> , Hilka Mariela Carrión-Sánchez<sup>1</sup> , Eliseo Pumacallahui-Salcedo<sup>1</sup> ,  
Rubén Casafranca-Vásquez<sup>1</sup> , Fanny Rosario Márquez-Romero<sup>1</sup> , Ulises Sandro Quispe-Gutiérrez<sup>2</sup>  y  
Víctor Justiniano Huamaní-Meléndez<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Departamento Académico de Ingeniería Civil y Ciencias Básicas. Cusco, Perú.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Departamento Académico de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Apurímac, Perú.

<sup>3</sup> São Paulo State University-UNESP, Department of Food Engineering and Technology, Campus of São José do Rio Preto. São Paulo, Brasil.

\*Autor para correspondencia:  
victor.melendez@unesp.br

### Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

### Contribución de autores:

Todos los autores realizaron contribuciones sustanciales en la concepción y diseño de este estudio, al análisis e interpretación de datos, a la revisión del manuscrito y la aprobación de la versión final. Todos los autores asumen la responsabilidad por el contenido del manuscrito.

### Financiamiento:

Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Cusco, Perú.

### Periodo de publicación:

Julio-Diciembre de 2023

### Historial:

Recibido: 18/07/2022;

Aceptado: 17/10/2023

### Editor responsable:

Arnaldo Esquivel Fariña

### Licencia:

Artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY 4.0

## RESUMEN

En el procesamiento del café se generan residuos orgánicos, como la cáscara y pulpa de cereza de café, que no son aprovechados y, consecuentemente, impactan en el medio ambiente. Considerando el aprovechamiento de estos residuos, el objetivo de este trabajo fue evaluar la presencia de componentes bioactivos en pigmentos extraídos de la pulpa y cáscara de cerezas de café, de las variedades Catimor y Typica, así también, comparar el impacto de métodos de conservación de estos residuos (*in natura*, seco y congelado), sobre el contenido de antocianinas totales (CAT), polifenoles totales (PFT) y la capacidad antioxidante. Los pigmentos de la cáscara y pulpa de café fueron extraídos con metanol acidificado, y posteriormente, fueron determinados los espectros que corresponden a compuestos antocianínicos, por espectroscopia UV-Visible y FTIR-ATR. Valores de CAT fueron determinados mediante el método pH diferencial, los PFT a través del método Folin-Ciocalteu, y la capacidad antioxidante con el método 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH). Los resultados obtenidos para cáscara y pulpa: *in natura*, seca y congelada, de las variedades Catimor y Typica, revelan que el CAT muestra un rango de 35,16-10,16 mg cianidina 3-G/100g, el contenido de PFT de 1971,10-247,12 mg ácido gálico/100 g y la capacidad antioxidante por DPPH de 33,73-16,07  $\mu\text{mol trolox/g}$  respectivamente. Los residuos secos de la variedad Catimor presentaron mayor actividad antioxidante, seguido de residuos *in natura* y congelados sin diferencia significativa entre ambos. De esta manera, los residuos del procesamiento del café poseen alto potencial agroindustrial como fuente de colorante natural.

**Palabras clave:** antioxidantes, antocianinas, bioactivos, polifenoles, residuos agroindustriales.

## ABSTRACT

In the processing of coffee, organic residues are generated, such as coffee peel and cherry pulp, which are not used and, consequently, have an impact on the environment. Considering that these residues contain antioxidants, the objective of this research was to obtain natural colorants from Arabica coffee peels and pulp of the Catimor and Typica varieties, as well as to evaluate the impact of the conservation methods of these residues (*in natura*, dry and frozen) on the total anthocyanin content (CAT), total polyphenols (PFT) and antioxidant capacity. The colorants of the coffee peel and pulp were extracted with acidified methanol and the spectra corresponding to anthocyanin compounds were determined by UV-Visible and FTIR-ATR spectroscopy. The CAT was determined by the differential pH method, the PFT by the Folin-Ciocalteu method, and the antioxidant capacity by the 2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl (DPPH) method. The results obtained for peel and pulp: *in natura*, dry and frozen, of Catimor and Typica varieties, reveal that the CAT content shows a range of 35.16-10.16 mg cyanidin 3-G/100g, the PFT content of 1971.10-247.12 mg gallic acid/100 g and the antioxidant capacity by DPPH of 33.73-16.07  $\mu\text{mol trolox/g}$  respectively. Thus, coffee processing residues have a high agroindustrial potential as a source of natural colorant, resulting that the dried residues of the Catimor variety have a higher antioxidant activity, followed by *in natura* and frozen residues, with no significant difference between the two.

**Keywords:** antioxidants, anthocyanins, bioactive, polyphenols, agroindustrial residues.

## INTRODUCCIÓN

Con la pandemia del COVID-19, la demanda de compuestos bioactivos se ha incrementado, buscando potenciar el sistema inmunológico y la resistencia frente a infecciones bacterianas o virales (Arya, Venkatram, More & Vijayan, 2022; Kaderides, Kyriakoudi, Mourtzinou y Goula, 2021). Tanto en vinos, cereza dulce y otros alimentos funcionales, la conservación de sus compuestos bioactivos y pigmentos, especialmente antocianinas, es una preocupación constante de los productores y materia de investigación para los científicos (Li et al., 2021; Momin, Sangma, Suresh, Singh y Rao, 2018).

Podemos encontrar alimentos con alto contenido de colorantes antocianínicos, sin embargo, estos compuestos bioactivos son inestables, siendo influenciados por varios factores como la temperatura, luz, oxidación, entre otros (Barragan Condori, 2017; Cervantes-Sierra, Barragán-Condori y Chaquilla-Quilca, 2019). Por lo tanto, se requiere evaluar la estabilidad de estos pigmentos frente a diferentes tratamientos térmicos a los cuales son sometidas las materias primas para su conservación (Sánchez, Carbajal, Ruiz y Quiroz, 2021).

Existe una creciente preocupación en relación al destino de los residuos agroindustriales, generando la necesidad de reciclar los residuos del procesamiento de algunas frutas y vegetales, como es el caso de la cáscara y pulpa de café (Cornejo-Figueroa, Cartagena-Cutipa y Alcázar-Alay, 2020), aprovechando los principios bioactivos presentes en ella, dando valor agregado y disminuyendo el impacto ambiental producido por estos residuos.

El café se encuentra entre los *commodities* más importantes, ocupando el segundo lugar después del petróleo (Carbajal, Rivera, Ramos y Raymundo, 2020). La Convención (Provincia de Cusco), es uno de los mayores productores de café en el Perú, con un área cultivada de 58 585 hectáreas (Lechthaler y Vinogradova, 2017). Las variedades predominantes de café Arábica cultivados en dicha región son Catimor y Typica.

Una de las primeras etapas en el procesamiento de café es el descascarado, donde la cáscara y la pulpa son removidas para, posteriormente, secar los granos de café (Geremu, Tola y Sualeh, 2016; Rakitikul, 2017). Esta operación genera residuos que, en su mayoría, son descartados impactando el medio ambiente local.

En cáscaras y pulpa de café fueron encontrados gran variedad de compuestos fenólicos como: ácido cafeico, ácido clorogénico, ácido ferúlico, catequinas y taninos (Arya et al., 2022; Heeger, Kosińska-Cagnazzo, Cantergiani y Andlauer, 2017; Kiattisin et al., 2019; Labat, Augur, Rio, Perraud-Gaimé, y Sayadi, 2000; Torres-Valenzuela, Ballesteros-Gómez y Rubio, 2020). Estos compuestos fenólicos pueden ser extraídos y utilizados como colorantes en productos alimenticios. La extracción de compuestos bioactivos puede dar valor agregado a los residuos industriales (Moure et al., 2001), representando una fuente alternativa de antioxidantes naturales, considerados seguros en comparación con los antioxidantes sintéticos (Chen, Pearson y Gray, 1992; Geremu et al., 2016).

Los métodos de preservación de las materias primas afectan significativamente la concentración de compuestos bioactivos (Stamenković et al., 2019; Wojdyło, Figiel y Oszmiański, 2009). Los compuestos antioxidantes no son estables, y se degradan en presencia de oxígeno, luz y el calor durante largos periodos de secado (Liu et al., 2019). Además, los fitoquímicos presentes en frutas y verduras, generalmente se encuentran unidas a membranas celulares, que por la cristalización provocada por el congelamiento pueden romperse y liberar compuestos bioactivos que serán degradados en presencia de oxígeno (Leong y Oey, 2012; Wani, Masoodi, Hag, Ahmad y Ganai, 2020).

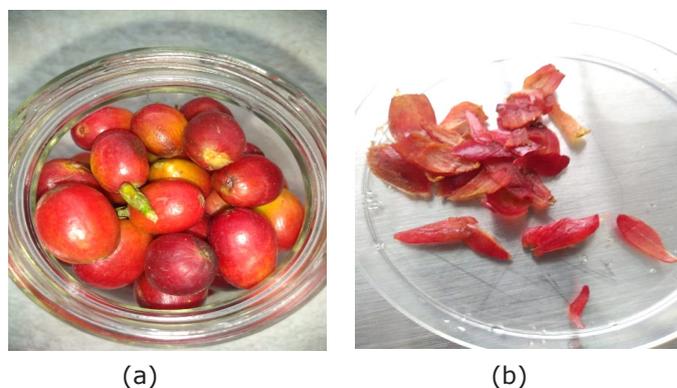
Por las consideraciones mencionadas, el objetivo de esta evaluar la presencia de componentes bioactivos en pigmentos extraídos de la pulpa y cáscara de cerezas de café de las variedades Catimor y Typica, y comparar el impacto de métodos de conservación de estos residuos (*in natura*, seco y congelado), sobre el contenido de antocianinas totales (CAT), polifenoles totales (PFT) y la capacidad antioxidante.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

Los frutos de café (*Coffea arabica*) de las variedades Catimor y Typica fueron recolectados durante el período de cosecha plena, en mayo de 2021 a partir de plantas sanas. El cultivo fue manejado con fertilización orgánica y manejo integrado de plagas. Fueron recolectados frutos con el mismo estado de maduración (colecta selectiva, frutos con coloración roja intensa), entre los meses de abril a mayo de la ex hacienda "Potreros", ubicado en la zona rural del distrito de Santa Ana, cerca de la ciudad de Quillabamba (1320 msnm), provincia de La Convención, Cusco, Perú.

Los residuos orgánicos producto del procesamiento de los granos del café (cáscara y pulpa) fueron recolectados en envases de vidrio (Figura 1), para ser analizados por separado: *in natura* (fresco), seco (en estufa a 60°C por 8 horas) y congelado (en congeladora a -20°C por 48 horas).



**Figura 1.** (a) Cerezas de café en óptimo estado de maduración (b) Pulpa y cáscara de frutos de café constituidas como residuo.

### Extracción de pigmentos antociánicos

Pigmentos fueron extraídos de los residuos orgánicos del procesamiento de café (cáscara y pulpa de las cerezas), utilizando como solvente metanol acidificado con 0,01% de HCl. La relación cáscara:solvente empleada fue de 1:10 p/v, la mezcla fue dejada en agitación a temperatura ambiente por 24 h, posteriormente, filtrado en papel filtro cualitativo, concentrado en rotavapor, centrifugado a 1000 ×g y aforado a un volumen determinado para su posterior análisis (Manzoor, Singh, Gani y Noor, 2021).

### Espectrofotometría UV-Visible

La presencia de antocianinas fue identificada cualitativamente usando espectrofotómetro (Thermo Scientific GENESYS 180S UV-Visible), realizando lectura a longitud de onda de 300 a 110 nm, con velocidad de registro de 1600 nm/min e 2 nm de resolución de datos. El solvente utilizado fue metanol acidificado (Barragan Condori, 2017).

### Espectrometría FTIR-ATR

Los grupos funcionales característicos de las antocianinas fueron identificados por espectrometría FTIR-ATR (Espectrometro FTIR Thermo Scientific iS50), en un rango de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  de longitud de onda, los espectros obtenidos fueron analizados respecto a su transmitancia, utilizando el software OMNIC™. Los extractos analizados fueron previamente secados.

### Contenido de antocianinas totales (CAT)

La cantidad de antocianinas totales se determinó por el método pH diferencial (Barragan Condori, 2017; Giusti y Wrolstad, 1996), con algunas adaptaciones. Fueron usados dos sistemas buffer: cloruro de potasio (KCl 0,025M, pH 1,0) y acetato de sodio ( $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,4M, pH 4,5), determinando la absorbancia por medio de un espectrofotómetro UV-Visible (Genesys 180S Thermo Scientific) a 520 y 700 nm, calculando las antocianinas monoméricas como cianidina-3-glucósido, usando para tal fin, las ecuaciones 1 y 2:

$$A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}4.5} \quad (1)$$

$$\text{CAT}_{(\text{mg cianidina-3-glucósido/L})} = \frac{A \times \text{PM} \times \text{FD} \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (2)$$

donde: A = cambio en la absorbancia, CAT = contenido de antocianinas totales (mg/L), PM = masa molecular para cianidina-3-glucósido 449,2 g/mol,  $\epsilon$  = coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucósido 29600 L/(mol·cm),  $l$  = camino óptico de celda 1 cm y FD factor de dilución.

### Determinación de polifenoles totales (PFT)

La determinación de PFT fue determinado usando el método Folin-Ciocalteu adaptado por (Barragán Condori, 2017; Hasperué, Rodoni, Guardianelli, Chaves & Martínez, 2016), usando como patrón de referencia ácido gálico

desde 0 a 0,2 (mg/mL). Los resultados fueron expresados usando la Ecuación 3.

$$\text{PFT}_{\frac{\text{mg ácido gálico}}{\text{litro}}} = \frac{|Abs_{\text{muestra}}| - A}{B} \times \text{FD} \quad (3)$$

donde  $Abs_{\text{muestra}}$  es la absorbancia de la muestra, A intercepto, B pendiente y FD factor de dilución.

### Capacidad antioxidante por el método TEAC DPPH

Para determinar la capacidad antioxidante en los extractos de residuos del beneficio de café, fue usado el radical libre 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) en medio metanólico, siendo el cambio de color cuantificado mediante espectrofotómetro Thermo Scientific GENESYS 180S UV-Visible a longitud de onda de 515 nm, usando como patrón trolox desde 0 a 800  $\mu\text{mol/L}$  (Brand-Williams, Cuvelier y Berset, 1995). La actividad antioxidante total fue expresada como  $\mu\text{mol trolox/g}$ . Usando etanol como blanco (Barragan Condori, 2017). Los resultados fueron expresados usando la Ecuación 4.

$$\text{PFT}_{\frac{\text{mg ácido gálico}}{\text{litro}}} = \frac{|Abs_{\text{muestra}}| - A}{B} \times \text{FD} \quad (4)$$

donde  $Abs_{\text{muestra}}$  es la absorbancia de la muestra, A intercepto, B pendiente y FD factor de dilución.

### Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software estadístico InfoStat versión 2020. Inicialmente, los datos fueron sometidos a las pruebas de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad y de Levene para determinar la homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se realizó el análisis de varianza en relación a las variables de respuesta. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey, considerando nivel de significancia de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Los resultados son presentados en promedio  $\pm$  desviación estándar.

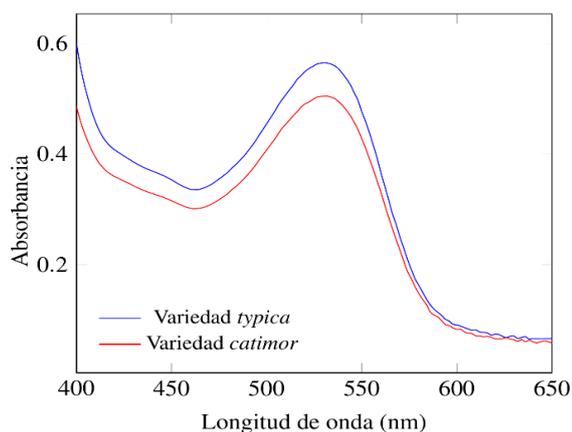
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Espectros de ultravioleta visible (UV-Vis) de antocianinas

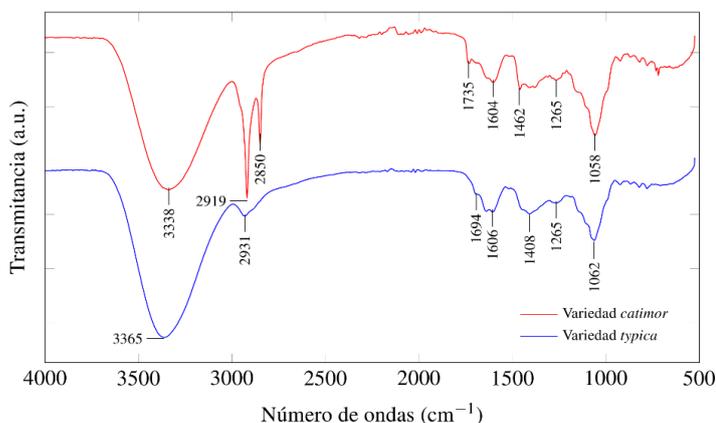
Los espectros UV-Visible de mayor absorbancia presentados en la Figura 2 corresponden a la longitud de onda entre 500 a 545 e indican, cualitativamente, la presencia de pigmentos antociánicos, similar a lo reportado Por Hasby, Nurhafidhah y Akbar (2019), que encontraron pico de mayor absorción a 529 nm para cáscara de café arábica. Así mismo, ese rango de longitud de onda es similar a lo reportado para antocianinas de manzana malaya (Arencibia, 2018), para fresas (da Silva, Escribano-Bailón, Pérez Alonso y Rivas-Gonzalo, 2007) y una gran variedad de antocianinas de origen natural (Saha et al., 2020). Los espectros UV-Vis de muestras de extractos antociánicos suelen variar con el pH, solventes usados y con la concentración de antocianinas, de manera similar a lo reportado en espectros de absorbancia de extractos de zanahoria negra y camote morado (Gérard et al., 2019).

## Espectros de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier- reflectancia total atenuada (FTIR-ATR)

En la Figura 3, son presentados los espectros FTIR-ATR de extracto antociánico de cáscara y pulpa de cereza de café de las variedades Catimor y Typica en estado fresco, identificando los grupos funcionales orgánicos característicos de las antocianinas como grupos carbonilo (C=O) entre 1735 y 1694  $\text{cm}^{-1}$ , aromáticos entre 1265 y 1451  $\text{cm}^{-1}$ , oxidrilos ( $\text{OH}^{-1}$  quelado) a 3338  $\text{cm}^{-1}$  y 3365  $\text{cm}^{-1}$ . Puede identificarse también combinaciones carbono-hidrógeno (C-H) a 2919 y 2931  $\text{cm}^{-1}$ . Espectros similares fueron encontrados para antocianinas extraídas de flores de *Plumeria rubra*, hojas de *Sauropus androgynus* (Dhafina, Daud y Salleh, 2020), antocianinas de salvado de arroz morado (Das, Goud y Das, 2019) y antocianinas extraídas de frutos de *Syzygium cumini* (Merz et al., 2020). El pico en torno a 2850  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones de estiramiento de los enlaces alifáticos C-H, asociada a las vibraciones de átomos de hidrógeno en moléculas orgánicas (Amanah et al., 2020; Sanjay, Deepa, Madhavan y Senthil, 2018), que forman parte de la estructura de azúcares (Wahyuningsih, Wulandari, Wartono, Munawaroh y Ramelan, 2017).



**Figura 2.** Espectro UV-Visible en extractos de cáscara de café (*Coffea arabica*) variedades Catimor y Typica en estado fresco.



**Figura 3.** Espectro FTIR ATR en extractos de cáscara de café (*Coffea arabica*) variedades Catimor y Typica en estado fresco.

## Cuantificación de antocianinas totales por el método de pH diferencial

Entre los resultados del CAT, se observa que existe diferencias significativas entre los extractos de residuos (cáscara y pulpa) de café Arábica variedades Catimor y Typica, presentando cantidades de 8,63 y 10,16 mg cianidina 3-glucósido/100 g, respectivamente (Tabla 1). El mayor contenido de antocianinas se presenta en la variedad Typica. Cabe enfatizar que el contenido de pigmentos antociánicos es estable frente a los tratamientos de preservación para las variedades analizadas. Estos resultados son similares a los encontrados en antocianinas extraídas de pulpas de residuos de café (Esquivel et al., 2020). Este comportamiento en el contenido de antocianinas totales también fue encontrado en frutos de extractos de *Vaccinium parvifolium* (arándanos rojos), reportado por Moyer, Hummer, Finn, Frei y Wrolstad (2002).

Comparando los métodos de preservación de muestras (Tabla 1), se encontró que el proceso de congelado, preserva de mejor manera el CAT en la variedad Typica. También se observa que el secado de la cáscara y pulpa de café de ambas variedades se mantienen el CAT similar al fresco, demostrando estabilidad de sus pigmentos antociánicos frente a la temperatura de secado, pudiéndose inferir que los colorantes de cereza de café poseen una baja degradación térmica durante el procesamiento de alimentos (Oancea, 2021).

## Cuantificación de polifenoles totales (PFT)

Los extractos de los residuos orgánicos de la cáscara y pulpa de café Arábica variedad Catimor poseen mayor contenido en PFT (769 mg de ácido gálico/100 g) en relación a la variedad Typica (265 mg de ácido gálico/100 g), ambos en estado fresco (Tabla 1). Resultados similares fueron encontrados en el análisis de pulpa de café de diferentes variedades, determinando contenido de PFT entre 386 y 3567 mg de ácido gálico/100 g (Perdani, Pranowo y Qonitatilah, 2019). Para la variedad Catimor, la mayor preservación de los PFT puede ser obtenida por congelación. Los polifenoles extraídos de la variedad Catimor exhiben mayor degradación durante el proceso de secado. Por otro lado, los PFT de la variedad Typica no difieren en forma significativa frente a los diferentes estados de conservación (Tabla 1). Trabajos similares determinaron que los procesos de secado o tostado de alimentos funcionales disminuyen la concentración de compuestos bioactivos entre ellos los polifenoles (Król, Gantner, Tatarak y Hallmann, 2020).

## Determinación de capacidad antioxidante TEAC DPPH

Los resultados de la capacidad antioxidante son presentados en la Tabla 1, siendo que la mayor capacidad antioxidante TEAC DPPH corresponde al extracto antociánico de residuo orgánico de la cáscara y pulpa de café arábica variedad Catimor (32,47  $\mu\text{mol}$  trolox/g) en estado fresco. Los resultados encontrados coinciden con los reportados para infusiones de pulpa de café (Geremu et al., 2016).

**Tabla 1.** Antocianinas totales (CAT), polifenoles totales (PFT) y capacidad antioxidante TEAC DPPH de extractos de residuos de café (*Coffea arabica*) por variedad y método de conservación.

Muestra de residuos de café	CAT (mg cianidina 3-glucósido/100g)	PFT (mg de ácido gálico/100 g)	TEAC DPPH (μmol trolox/g)
Variedad Catimor (fresco)	8,63 ±0,81 <sup>A</sup>	769,37 ±10,53 <sup>A</sup>	32,46 ±0,14 <sup>A</sup>
Variedad Catimor (congelado)	9,66 ±0,22 <sup>AB</sup>	735,81 ±7,71 <sup>B</sup>	32,36 ±0,10 <sup>A</sup>
Variedad Catimor (seco)	9,71 ±0,64 <sup>AB</sup>	686,05 ±22,77 <sup>C</sup>	33,73 ±0,18 <sup>B</sup>
Variedad Typica (fresco)	10,15 ±0,25 <sup>BC</sup>	265,14 ±3,50 <sup>D</sup>	19,31 ±0,08 <sup>C</sup>
Variedad Typica (congelado)	10,84 ±0,08 <sup>C</sup>	275,01 ±1,28 <sup>D</sup>	18,96 ±0,08 <sup>D</sup>
Variedad Typica (seco)	11,04 ±0,15 <sup>BC</sup>	247,12 ±1,86 <sup>D</sup>	16,06 ±0,08 <sup>E</sup>

Datos expresados en media ±desviación estándar,  $n = 3$ .

Letras con superíndice diferente dentro de la columna expresan diferencias significativas conforme al test de Tukey con 5% de significancia.

En relación al método de preservación por congelación, la variedad Catimor posee mayor capacidad antioxidante con respecto a la variedad Typica, concordante a otras investigaciones con antocianinas de café (Ontawong et al., 2021). Se observa también que en antocianinas de la variedad Typica los métodos de preservación estudiados influyen significativamente en su capacidad antioxidante.

## CONCLUSIONES

En los residuos de cáscara y pulpa de café Arábica (*Coffea arabica*) de las variedades Catimor y Typica se han identificado antocianinas como componente principal del colorante natural extraída de los mismos. Fueron cuantificadas las antocianinas, polifenoles totales de ambas variedades, así como también fue determinada su capacidad antioxidante por el método DPPH para extractos antociánicos de residuos sometidos a tres métodos de conservación (fresco, seco y congelado). La variedad Catimor presentó el mayor contenido de antocianinas totales en estado fresco, encontrándose que el proceso de secado, para ambas variedades, no afecta de manera significativa la concentración de antocianinas o polifenoles totales. Sin embargo, el método conservación por congelamiento preserva mejor las antocianinas presentes en los residuos. La variedad Catimor en estado fresco presentó mayor contenido de PFT, siendo estos mejor preservados por congelamiento. Por otro lado, en la variedad Typica no se encontró influencia significativa de los diferentes procesos de conservación. La mayor capacidad antioxidante fue determinada en los extractos antociánicos de la variedad Catimor en estado fresco y congelado. En relación a la variedad Typica, procesos de conservación estudiados influyen significativamente en su capacidad antioxidante, pudiéndose inducir que la variedad Catimor es una excelente fuente de colorantes para ser usado como aditivos naturales en el procesamiento de alimentos con características funcionales.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Cusco, Perú por el financiamiento de la investigación y la provisión de recursos materiales y de laboratorio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amanah, H. Z., Joshi, R., Masithoh, R. E., Choung, M.-G., Kim, K.-H., Kim, G., & Cho, B.-K. (2020). Nondestructive

measurement of anthocyanin in intact soybean seed using Fourier Transform Near-Infrared (FT-NIR) and Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy. *Infrared Physics & Technology*, 111, 103477. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103477>

Arencibia, J. A. (2018). Optimización de la extracción de antocianinas a partir de manzana malaya (*Syzygium malaccense*). *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 4(1), 65–76.

Arya, S. S., Venkatram, R., More, P. R., & Vijayan, P. (2022). The wastes of coffee bean processing for utilization in food: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 59(2), 429–444. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05032-5>

Barragan Condori, M. (2017). Evaluación y caracterización de compuestos bioactivos del mio—Mio (*Coriaria ruscifolia* L) por espectroscopia FTIR y HPLC. *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7772>

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Carbajal, E., Rivera, J., Ramos, E., & Raymundo, C. (2020). Strategic Sourcing Toward a Sustainable Organic Coffee Supply Chain: A Research Applied in Cuzco. Em T. Ahram, W. Karwowski, S. Pickl, & R. Taiar (Eds.), *Human Systems Engineering and Design II* (Vol. 1026, p. 929–935). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8\\_139](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8_139)

Cervantes-Sierra, R., Barragán-Condori, M., & Chaquilla-Quilca, G. (2019). Evaluación de antioxidantes en el té de hojas de camote morado (*Ipomoea batatas* L.). *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i4.4790>

Chen, C., Pearson, A. M., & Gray, J. I. (1992). Effects of synthetic antioxidants (BHA, BHT and PG) on the mutagenicity of IQ-like compounds. *Food Chemistry*, 43(3), 177–183. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(92\)90170-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(92)90170-7)

Cornejo-Figueroa, M. H., Cartagena-Cutipa, R., & Alcázar-Alay, S. C. (2020). Tecnologías ecoeficientes para la valoración de residuos agroindustriales en frutas y hortalizas. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 2(01), 294–311. <https://doi.org/10.47796/ing.v2i01.300>

da Silva, F. L., Escribano-Bailón, M. T., Pérez Alonso, J. J., Rivas-Gonzalo, J. C., & Santos-Buelga, C. (2007). Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT - Food Science and Technology*, 40(2), 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.018>

- Das, A. B., Goud, V. V., & Das, C. (2019). Microencapsulation of anthocyanin extract from purple rice bran using modified rice starch and its effect on rice dough rheology. *International Journal of Biological Macromolecules*, *124*, 573–581. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.247>
- Dhafina, W. A., Daud, M. Z., & Salleh, H. (2020). The sensitization effect of anthocyanin and chlorophyll dyes on optical and photovoltaic properties of zinc oxide based dye-sensitized solar cells. *Optik*, *207*, 163808. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.163808>
- Esquivel, P., Viñas, M., Steingass, C. B., Gruschwitz, M., Guevara, E., Carle, R., Schweiggert, R. M., & Jiménez, V. M. (2020). Coffee (*Coffea arabica* L.) by-Products as a Source of Carotenoids and Phenolic Compounds—Evaluation of Varieties With Different Peel Color. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, 590597. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.590597>
- Gérard, V., Ay, E., Morlet-Savary, F., Graff, B., Galopin, C., Ogren, T., Mutilangi, W., & Lalevé, J. (2019). Thermal and Photochemical Stability of Anthocyanins from Black Carrot, Grape Juice, and Purple Sweet Potato in Model Beverages in the Presence of Ascorbic Acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *67*(19), 5647–5660. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01672>
- Geremu, M., Tola, Y. B., & Sualeh, A. (2016). Extraction and determination of total polyphenols and antioxidant capacity of red coffee (*Coffea arabica* L.) pulp of wet processing plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *3*(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0077-1>
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (1996). Characterization of Red Radish Anthocyanins. *Journal of Food Science*, *61*(2), 322–326. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb14186.x>
- Hasby, H., Nurhafidhah, N., & Akbar, S. A. (2019). The UV-Vis Study on Anthocyanin Pigments Activities Extracted from Gayo Arabika Coffee Husks. *Elkawanie*, *5*(2), 147. <https://doi.org/10.22373/ekw.v5i2.5232>
- Hasperué, J. H., Rodoni, L. M., Guardianelli, L. M., Chaves, A. R., & Martínez, G. A. (2016). Use of LED light for Brussels sprouts postharvest conservation. *Scientia Horticulturae*, *213*, 281–286. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.004>
- Heeger, A., Kosińska-Cagnazzo, A., Cantergiani, E., & Andlauer, W. (2017). Bioactives of coffee cherry pulp and its utilisation for production of Cascara beverage. *Food Chemistry*, *221*, 969–975. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.067>
- Kaderides, K., Kyriakoudi, A., Mourtzinis, I., & Goula, A. M. (2021). Potential of pomegranate peel extract as a natural additive in foods. *Trends in Food Science & Technology*, *115*, 380–390. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.050>
- Kiattisin, K., Intasai, N., Nitthikan, N., Nantararat, T., Lee, K.-H., Lin, W.-C., Lue, S.-C., & Leelapornpisid, P. (2019). Antioxidant, anti-tyrosinase, anti-aging potentials and safety of arabica coffee cherry extract. *Chiang Mai Journal of Science*, *46*(5), 930–945. Scopus.
- Król, K., Gantner, M., Tatarak, A., & Hallmann, E. (2020). The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. *European Food Research and Technology*, *246*(1), 33–39. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03388-9>
- Labat, M., Augur, C., Rio, B., Perraud-Gaimé, I., & Sayadi, S. (2000). Biotechnological Potentialities of Coffee and Similar with Olive, Two Models of Agroindustrial Products Rich in Polyphenolic Compounds: A Review. Em T. Sera, C. R. Soccol, A. Pandey, & S. Roussos (Orgs.), *Coffee Biotechnology and Quality: Proceedings of the 3rd International Seminar on Biotechnology in the Coffee Agro-Industry, Londrina, Brazil* (p. 517–531). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1068-8\\_48](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1068-8_48)
- Lechthaler, F., & Vinogradova, A. (2017). The climate challenge for agriculture and the value of climate services: Application to coffee-farming in Peru. *European Economic Review*, *99*, 5–30. <https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2017.06.006>
- Leong, S. Y., & Oey, I. (2012). Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. *Food Chemistry*, *133*(4), 1577–1587. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.052>
- Li, M., Zhao, X., Sun, Y., Yang, Z., Han, G., & Yang, X. (2021). Evaluation of Anthocyanin Profile and Color in Sweet Cherry Wine: Effect of Sinapic Acid and Grape Tannins during Aging. *Molecules*, *26*(10), 2923. <https://doi.org/10.3390/molecules26102923>
- Liu, H., Liu, J., Lv, Z., Yang, W., Zhang, C., Chen, D., & Jiao, Z. (2019). Effect of dehydration techniques on bioactive compounds in hawthorn slices and their correlations with antioxidant properties. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(5), 2446–2457. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03720-x>
- Manzoor, M., Singh, J., Gani, A., & Noor, N. (2021). Valorization of natural colors as health-promoting bioactive compounds: Phytochemical profile, extraction techniques, and pharmacological perspectives. *Food Chemistry*, *362*, 130141. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130141>
- Merz, B., Capello, C., Leandro, G. C., Moritz, D. E., Monteiro, A. R., & Valencia, G. A. (2020). A novel colorimetric indicator film based on chitosan, polyvinyl alcohol and anthocyanins from jambolan (*Syzygium cumini*) fruit for monitoring shrimp freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, *153*, 625–632. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.048>
- Momin, K. C., Sangma, A. N., Suresh, C. P., Singh, Y. S. & Rao, S. R. (2018). Blood fruit [*Haematocarpus validus* (Miers) Bakh. F. Ex Forman]—A potential nutraceutical and therapeutic fruit plant. *International Journal of Minor Fruits, Medicinal and Aromatic Plants*, *4*(1), 44–49.
- Moure, A., Cruz, J. M., Franco, D., Domínguez, J. M., Sineiro, J., Domínguez, H., José Núñez, M., & Parajó, J. C. (2001). Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry*, *72*(2), 145–171. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00223-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00223-5)
- Moyer, R. A., Hummer, K. E., Finn, C. E., Frei, B., & Wrolstad, R. E. (2002). Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(3), 519–525. <https://doi.org/10.1021/jf011062r>
- Oancea, S. (2021). A Review of the Current Knowledge of Thermal Stability of Anthocyanins and Approaches to Their Stabilization to Heat. *Antioxidants*, *10*(9), 1337. <https://doi.org/10.3390/antiox10091337>
- Ontawong, A., Pasachan, T., Trisuwan, K., Soodvilai, S., Duangjai, A., Pongchaidecha, A., Amornlerdpison, D., & Srimaroeng, C. (2021). *Coffea arabica* pulp aqueous extract attenuates oxidative stress and hepatic lipid accumulation in HepG2 cells. *Journal of Herbal Medicine*, *29*, 100465. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2021.100465>
- Perdani, C. G., Pranowo, D., & Qonitatilah. (2019). Total

- phenols content of green coffee ( *Coffea arabica* and *Coffea canephora* ) in East Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 230, 012093. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012093>
- Rakitikul, W. (2017). Determination of Tannin in Coffee Pulp Using Experimental and Theoretical Approches. *Key Engineering Materials*, 751, 683–688. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.751.683>
- Saha, S., Singh, J., Paul, A., Sarkar, R., Khan, Z., & Banerjee, K. (2020). Anthocyanin Profiling Using UV-Vis Spectroscopy and Liquid Chromatography Mass Spectrometry. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 103(1), 23–39. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0201>
- Sánchez, P. P. P., Carbajal, W. R., Ruiz, A. C., & Quiroz, R. C. R. (2021). Evaluación de la capacidad antioxidante y estabilidad térmica de la cáscara, zumo y semilla de lima dulce, limón rugoso y limón tipo mandarina. *RevIA*, 9(7), 38–46.
- Sanjay, P., Deepa, K., Madhavan, J., & Senthil, S. (2018). Optical, spectral and photovoltaic characterization of natural dyes extracted from leaves of *Peltophorum pterocarpum* and *Acalypha amentacea* used as sensitizers for ZnO based dye sensitized solar cells. *Optical Materials*, 83, 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.06.011>
- Stamenković, Z., Pavkov, I., Radojčin, M., Tepić Horecki, A., Kešelj, K., Bursać Kovačević, D., & Putnik, P. (2019). Convective Drying of Fresh and Frozen Raspberries and Change of Their Physical and Nutritive Properties. *Foods*, 8(7), 251. <https://doi.org/10.3390/foods8070251>
- Torres-Valenzuela, L. S., Ballesteros-Gómez, A., & Rubio, S. (2020). Supramolecular solvent extraction of bioactives from coffee cherry pulp. *Journal of Food Engineering*, 278, 109933. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109933>
- Wahyuningsih, S., Wulandari, L., Wartono, M. W., Munawaroh, H., & Ramelan, A. H. (2017). The Effect of pH and Color Stability of Anthocyanin on Food Colorant. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 193, 012047. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/193/1/012047>
- Wani, S. M., Masoodi, F. A., Haq, E., Ahmad, M., & Ganai, S. A. (2020). Influence of processing methods and storage on phenolic compounds and carotenoids of apricots. *LWT-Food Science and Technology*, 132, 109846. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109846>