



Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en tres ecotipos de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) durante la pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha

Phenolic compounds and antioxidant capacity in three maca (*Lepidium meyenii* Walp.) ecotypes during pre-harvest, harvest and natural post-harvest drying

 Emilio Yábar^{1,*} ; Rosana Chirinos² ; David Campos² 
¹ Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

² Instituto de Biotecnología (IBT), Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM, Av. La Molina s/n, Lima, Perú.

Received June 18, 2018. Accepted March 17, 2019.

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el perfil HPLC-PDA de los compuestos fenólicos, su contenido y capacidad antioxidante en los extractos de los hipocótilos de maca amarilla, roja y negra durante las etapas de pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha. De la pre-cosecha al secado natural post-cosecha, en los tres ecotipos, se observó un incremento significativo de los compuestos fenólicos totales y su capacidad antioxidante. En la cosecha, la maca roja presentó la mayor concentración de compuestos fenólicos. Los análisis HPLC-PDA revelaron la prevalencia de 11 compuestos fenólicos, pero con diferentes concentraciones en cada ecotipo y en cada etapa de estudio, seis derivados del flavanol (flavan-3-ol), cuatro derivados del ácido benzoico y un derivado del ácido *o*-cumárico. El secado post-cosecha en condiciones naturales, generó una pérdida significativa (maca amarilla 89,90%, maca roja 82,49% y maca negra 66,31%) de compuestos fenólicos, principalmente derivados del ácido benzoico y *o*-cumárico, llegando a límites no detectables, toleraron estas condiciones dos derivados del flavanol (flavan-3-ol). Los resultados del estudio sugieren mejorar el manejo post-cosecha para preservar el contenido de compuestos fenólicos.

Palabras clave: Cultivos andinos; hipocótilos; *Lepidium meyenii*; alimento funcional.

Abstract

This research aimed to evaluate the HPLC-DAD profile of phenolic compounds, their content and antioxidant capacity in hypocotyls extracts of yellow, red and black maca during pre-harvest, harvest and natural post-harvest drying. A significant increase in total phenolic compounds and antioxidant capacity was observed from pre-harvest to natural post-harvest drying in all three ecotypes. During harvest, red maca had the highest concentration of phenolic compounds. HPLC-DAD analysis revealed the prevalence of 11 phenolic compounds, but with different concentrations in each ecotype and in each stage of study, such as six flavanol derivatives (flavan-3-ol), four derivatives of benzoic acid and an *o*-coumaric acid derivative. Post-harvest drying, under natural conditions, caused a significant loss (yellow maca 89.90%, red maca 82.49% and black maca 66.31%) of phenolic compounds, mainly derived from benzoic and *o*-coumaric acid, until non-detectable limits, only two flavanol derivatives (flavan-3-ol) tolerated these conditions. The results of the study suggest improving cultivation techniques and post-harvest management to preserve the content of phenolic compounds.

Keywords: Andean crops; hypocotyls; *Lepidium meyenii*; functional food.

How to cite this article:

Yábar, E.; Chirinos, R.; Campos, D. 2019. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en tres ecotipos de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) durante la pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha. Scientia Agropecuaria 10(1): 85-97.

* Corresponding author
E-mail: eyabar@uncp.edu.pe (E. Yábar).

1. Introducción

La Maca (*Lepidium meyenii* Walp, $2n = 8x = 64$), es el único cultivo andino tradicional perteneciente a la familia *Brassicaceae*, crece en la sierra central del Perú (4000 - 5000 metros de altitud), se adapta bien a las condiciones de altitud extremadamente severas, debido al éxito de su poliploidización de los genomas en períodos de condiciones ecológicas drásticas (Zhang *et al.*, 2016). Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios, producidos por las plantas como respuesta al estrés, poseen al menos un anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxilo y pueden dividirse según su estructura química en flavonoides (flavonas, flavonoles, flavanoles, flavanonas, isoflavonas y antocianinas), ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxibenzoico y ácido hidroxicinámico), taninos, estilbenos, cumarinas y lignanos, en los alimentos contribuyen a su estabilidad oxidativa, color, olor y sabor astringente, proporcionan beneficios para la salud por sus propiedades antioxidantes, antialérgicas, anticancerosas, antiinflamatorias, antidiarreicas, antivíricas, antiulcerosas, molusquicidas, antihelmínticos, antihepatóxicos y antiproliferativos (Costa *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2019). Estudios epidemiológicos correlacionan la ingesta de flavonoides con una incidencia reducida de enfermedades crónicas, la actividad de las especies reactivas del oxígeno (ROS) en la etiología de estas enfermedades, ha sugerido que los polifenoles que muestran actividad antioxidante (captura del anión superóxido, radicales hidroxil y peróxido) pueden contribuir a la prevención de estas patologías, es importante considerar su cinética de absorción y biodisponibilidad (Lima *et al.*, 2014).

El cuerpo humano tiene un sistema de defensa antioxidante para contrarrestar el estrés oxidativo, como el sistema redox enzimático constituido por catalasa (CAT), superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPx), glutatión reductasa (GR) y peroxiredoxinas (PRx), mecanismo de defensa celular que mantiene el equilibrio oxidativo, si este mecanismo es deficiente debido al estrés oxidativo por exceso de ROS, el consumo de una dieta rica en polifenoles refuerza y restaura la homeostasis redox incrementando la actividad de las enzimas antioxidantes (xenohormesis) (Zhang y Tsao, 2016). La biosíntesis y concentración de compuestos fenólicos en las plantas depende del genotipo, factores bióticos (plagas, infección por patógenos) y al estrés abiótico (luz, temperatura, fuente

de nutrientes, disponibilidad de agua, condiciones de crecimiento y radiación UV), además de las condiciones de almacenamiento y tratamiento post-cosecha, se producen por medio de la vía del ácido shikímico, donde la fenilalanina amonio liasa (PAL), es la enzima clave que cataliza su biosíntesis (Cartea *et al.*, 2011). Los factores más importantes durante la pre-cosecha están determinados por una interacción entre el genotipo, los factores climáticos, edáficos y el manejo del cultivo que influyen en el contenido, perfil de polifenoles y actividad de la polifenoloxidasas; en este contexto, los sistemas de cultivo eco-sostenibles generan rendimientos comerciales aceptables y buena calidad en bioactivos (Lombardo *et al.*, 2018). Varios estudios mostraron un significativo incremento en el contenido de fenoles totales al momento de la cosecha debido al estrés inducido provocado por las acciones físicas realizadas durante este proceso por la activación de la PAL, durante el almacenamiento ocurre una disminución de los compuestos fenólicos y actividad antioxidante por la ruptura de las paredes celulares, al reordenamiento de la matriz vegetal y la oxidación causada por el oxígeno residual (Armesto *et al.*, 2017; Pinela *et al.*, 2018; Esua *et al.*, 2019).

El contenido de fenoles totales varía según el ecotipo y el método de extracción, hay resultados donde la maca negra presentó más fenoles totales que la maca roja y amarilla, ese mismo comportamiento se observó con su capacidad antioxidante, en otros trabajos el ecotipo amarillo supera a la maca roja y negra, debe advertirse que la capacidad antioxidante está influenciado, además, por los glucosinolatos, alcaloides y polisacáridos (Korkmaz, 2018). El tratamiento doméstico (lavado, pelado, cortado, etc.) e industrial como el procesamiento convencional térmico y no térmico (altas presiones, campos eléctricos pulsantes, ultrasonido/sonicación, ozono, ultravioleta) tienen efecto en la concentración final de polifenoles (Tiwari y Cummins, 2013).

A la fecha no hay trabajos que hayan evaluado la evolución de los compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante en la cadena productiva de la maca como materia prima para la industria.

El objetivo del trabajo de investigación fue evaluar el efecto de las etapas de pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha en el perfil, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en los hipocótilos de tres ecotipos de maca.

2. Materiales y métodos

Material vegetal

Se trabajó con los hipocótilos de tres ecotipos de maca: amarilla, roja y negra, procedentes de un cultivo tradicional de la Comunidad campesina de San Pedro de Cajas, ubicado a 4200 msnm, latitud 11°15'01" y longitud 75°51'53" (Junín, Perú). La siembra se realizó en noviembre del 2014 y la cosecha en julio del 2015. Se tomaron al azar muestras de 10 plantas (~2 kg) a los siguientes tiempos: (a) 90, 45, 30 y 15 días antes de la cosecha, (b) durante la cosecha, y (c) a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días de secado natural post-cosecha. Durante la cosecha, los hipocótilos son apilados al medio ambiente durante 2 días, luego colocados en rafias de polipropileno de ~50 kg donde permanecieron por 2 a 3 días. Después de este período, los sacos de maca fueron trasladados al lugar de secado donde se esparcieron hasta una altura aproximada de 10 cm. Durante las noches, los hipocótilos se cubrieron con toldos de plástico para protegerlos de las condiciones extremas de temperatura (-10 °C). Las temperaturas durante el secado estuvieron comprendidas entre -10 a 15 °C y 70 a 95% de HR. Tomadas las muestras, estas fueron acondicionadas en un cooler y transportadas al laboratorio, se lavaron, secaron con papel toalla y envasaron en bolsas de polietileno negro y almacenado a -20 °C hasta el momento de su análisis. Una muestra fue utilizada para determinar su humedad.

Estándares y reactivos químicos

Estándares fenólicos: ácidos fenólicos (*p*-cumárico, *o*-cumárico, protocatéquico, ferúlico, gálico, cafeico, clorogénico y ácido *p*-hidroxibenzoico), flavonoles (queretina, rutina, miricetina y kaempferol), flavonas (luteolina y apigenina) y flavanonas (naringenina), grado HPLC o de valoración $\geq 95\%$, fueron adquiridos de Sigma Chemicals Co. (St. Louis, MO). Flavan-3-oles (catequina y epicatequina grado HPLC $\geq 98\%$, fueron adquiridos de ChromaDex™ (Santa Clara, CA). Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametil croman-2-carboxílico, pureza 97%), Dimetilaminocinamaldehído (DMACA), pureza 98% y ácido 2,2'-Azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS^{•+}), pureza $\geq 98\%$ fueron adquiridos de Sigma Chemicals Co. (St. Louis, MO). Cloruro de aluminio, pureza 99,99%, acetonitrilo grado HPLC, 2N Folin-Ciocalteu, otros solventes y reactivos de grado analítico fueron adquiridos de Merck (Darmstadt, Germany).

Determinación de compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos totales fueron estimados según el método de Singleton y Rossi (1965). Se pesó un gramo de muestra (en base seca) y se homogenizó con 25 mL de metanol al 80% utilizando una licuadora de laboratorio (Thomas Scientific, Modelo TS3392, U.S.A.), se trasvasó a un erlenmeyer de 100 mL, se inyectó nitrógeno por 2 min, se mezcló por una hora a temperatura ambiente, seguidamente se centrifugó (centrífuga Hettich, Rotofix 32A, Alemania) a 4500 g por 20 min, el sobrenadante se recolectó y la torta se volvió a re-extraer, bajo las mismas condiciones con 25 mL de metanol al 80%. Ambos sobrenadantes se combinaron y mezclaron, se conservaron a -20 °C (congeladora, Electrolux, H300, Brasil), hasta el momento del análisis. Una alícuota de 500 μ L del extracto, se mezcló (Agitador vortex, VELP Scientifica, Modelo F202A0175, Italia) con 250 μ L del reactivo de Folin-Ciocalteu 1N y 1250 μ L de una solución de carbonato de sodio, se dejó reaccionar por 30 min, al mismo tiempo una alícuota de 500 μ L de agua destilada se trató de la misma forma que la muestra y se utilizó como control. La absorbancia se midió a 755 nm (espectrofotómetro, Thermo Spectronic, Modelo Genesys 20, U.S.A.) y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) 100 g⁻¹ de materia seca (MS). Se empleó una curva estándar construida con ácido gálico en el rango de 0,4624 a 3,2368 mg 100 mL⁻¹.

Determinación de la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se estimó por el método ABTS^{•+} propuesto por Arnao *et al.* (2003). Una alícuota de 150 μ L del extracto se mezcló con 2,850 μ L de solución de ABTS^{•+}, preparada según Awika *et al.* (2003). Esta mezcla se dejó reaccionar a 20 °C por 30 min. En paralelo al mismo tiempo, alícuotas de 150 μ L de metanol fueron sometidas al mismo procedimiento y se utilizaron como control. Se utilizó como blanco metanol y la disminución de la absorbancia debido a la actividad antioxidante se registró a 734 nm. La capacidad antioxidante se calculó como μ mol equivalentes de Trolox (ET) g⁻¹ de materia seca (MS). Se empleó una curva estándar construida con Trolox en el rango de concentraciones de 0,0497 a 0,7978 μ mol ET mL⁻¹.

Determinación de antocianinas totales

La cuantificación de antocianinas se realizó por el método del pH diferencial propuesto

por Giusti y Wrolstad (2001). Un gramo de muestra en base seca fue solubilizado en 20 mL del solvente de extracción (etanol al 95%: HCl 1,5 mol·L⁻¹, 85:15, v/v), se homogenizó por 2 min y se maceró a 4 °C durante 24 h. El extracto se centrifugó a 4500 g por 20 min, el sobrenadante se diluyó con un buffer (HCl 0,1 mol·L⁻¹, KCl 25 mmol·L⁻¹) pH 1,0 y buffer (CH₃COONa 0,4 mol·L⁻¹) a pH 4,5 (Potenciómetro, Thermo-Orion, Modelo Star A211, U.S.A.). La absorbancia de las mezclas se midió a 535 y 700 nm tomando como blanco agua destilada. La concentración de antocianinas fue calculada y expresada como mg equivalentes de cianidina-3-glucósido (EC3G) 100 g⁻¹ de materia seca (MS), aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Antocianinas totales (mg EC3G 100 g}^{-1}\text{)} = \frac{(A \cdot \text{PM} \cdot \text{FD} \cdot \text{V} \cdot 1000 \cdot 100)}{\epsilon \times 1 \text{ cm} \cdot \text{m}}$$

Donde A = (Abs₅₃₅ - Abs₇₀₀)_{pH 1,0} - (Abs₅₃₅ - Abs₇₀₀)_{pH 4,5}; PM: peso molecular (449,2 g·mol⁻¹), FD: factor de dilución, ε: coeficiente de extinción molar (26900 mol·L⁻¹·cm⁻¹), m: cantidad de muestra (g, MS) y V: volumen total de extracto (mL).

Determinación de flavanoides totales

La determinación de flavanoides totales (flavan-3-oles, flavan-4-oles, flavan-3,4-dioles, flavanonas y derivados) fue estimada por el método propuesto por Delcour y Devarebeke (1985). Un gramo de muestra (base seca) fue solubilizada en 20 mL de acetona al 70% en una licuadora de laboratorio, se trasvasó a un erlenmeyer de 100 mL, se inyectó nitrógeno por 2 min y se mantuvo en agitación (agitador orbital Heidolph, Polymax 2040, Alemania) por una hora, seguidamente se centrifugó a 4,500 g por 20 min, la torta residual fue sometido a una segunda extracción similar a la primera, los sobrenadantes fueron combinados y se concentraron a 40 °C en un rotavapor (Heidolph, modelo Laborotta 4000, Alemania), todo el experimento se realizó en oscuridad. Un mililitro del reactivo cromógeno DMACA (250 mg en 500 mL de HCl concentrado: MeOH, 30:70, v/v) se añadió a 200 µL del extracto, se mezcló y esperó a que ocurra la reacción por 10 min a temperatura ambiente. Se utilizó como blanco agua destilada bajo las mismas condiciones que la muestra. La absorbancia se midió a 640 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de catequina (EC) 100 g⁻¹ de materia seca (MS). Se empleó una curva estándar construida con catequina de rango de concentraciones de 0,6 a 3,72 mg 100 mL⁻¹.

Determinación de flavonoides totales

La determinación de flavonoides totales (flavonoles, flavonas e isoflavonas) fue

estimada por el método colorimétrico propuesto por Chang *et al.* (2002). Un gramo de muestra (base seca), fue solubilizada con 20 mL de etanol al 80% en una licuadora de laboratorio, se trasvasó a un erlenmeyer de 100 mL, se inyectó nitrógeno por 2 min, se centrifugó a 4500 g por 20 min, se recolectó el sobrenadante y la torta residual fue utilizada para realizar una segunda extracción similar a la primera. Ambos sobrenadantes se mezclaron, el volumen final se concentró en un rotavapor a 40 °C hasta un 30%. Todo el trabajo se realizó en oscuridad. A 250 µL del extracto, se añadió 750 µL de etanol al 96%, 50 µL de cloruro de aluminio al 10%, 50 µL de acetato de potasio 1 M y 1400 µL de agua destilada, se mezcló y esperó 30 min a que ocurra la reacción a temperatura ambiente. Al mismo tiempo, se preparó un blanco con 50 µL de agua destilada en lugar de cloruro de aluminio al 10%. La absorbancia se midió a 415 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de quercetina (EQ) 100 g⁻¹ de materia seca (MS). La curva estándar fue preparada con quercetina en el rango de concentraciones de 4,08 a 14,28 mg 100 mL⁻¹.

Análisis por HPLC-PDA de compuestos fenólicos

El perfil químico de los compuestos fenólicos fue determinado de acuerdo con el procedimiento propuesto por Chirinos *et al.* (2008). 5 gramos de muestra en base seca fue solubilizada en 50 mL de metanol al 80% utilizando una licuadora de laboratorio, se trasvasó a un frasco de 100 mL, se inyectó nitrógeno por 2 min, se agitó por una hora, se centrifugó a 4500 g por 20 min, a la torta residual se realizó una segunda re-extracción similar a la primera, se mezclaron ambos sobrenadantes y se concentró al vacío a 40 °C, todo el trabajo se realizó en oscuridad. El extracto se purificó en un cartucho Sep-Pak C18 siguiendo el procedimiento reportado por Zheng y Wang (2003). La fracción de compuestos fenólicos fue utilizada para su separación usando el cromatógrafo líquido de alta performance (HPLC) Waters 2695 (Milford, Massachusetts, U.S.A.) equipado con auto inyector, un detector PDA 2996, (detector de matriz de fotodiodos). Los datos espectrales fueron registrados entre 200 y 700 nm. La columna X-terra RP₁₈ (5 µm, 250 x 4,6 mm) (Waters, Milford, Massachusetts, U.S.A.) y la pre-columna 4,6 x 2,0 mm fue utilizada para la separación de los compuestos fenólicos a 30 °C. La fase móvil consistió en el solvente

(A) agua: ácido acético (94: 6, v/v, pH 2,27) y solvente (B) acetonitrilo. La elución se realizó con el gradiente siguiente: 0 - 15% de B en 40 minutos, 15 - 45 % de B en 40 minutos y 45 - 100 % de B en 10 minutos. El flujo fue de 0,5 ml·min⁻¹ y se inyectó 20 µL de muestra. Muestras y fases móviles fueron previamente filtradas con filtros Millipore de 0,22 µm, tipo GV (Millipore, Bedford, Massachusetts, U.S.A.). Las muestras fueron analizadas por triplicado. Los compuestos fenólicos se identificaron por comparación de sus tiempos de retención y espectros de absorción UV de los estándares fenólicos. Los resultados fueron expresados en mg 100 g⁻¹ MS. Se tomó como base los criterios de identificación (características cromatográficas y espectrales) de los compuestos fenólicos.

Análisis estadístico

Los análisis se realizaron por triplicado. Los resultados se procesaron mediante un análisis de varianza de un factor. Se utilizó la prueba de Duncan para evaluar la diferencia de medias entre los diferentes tratamientos. Diferencias a una $p < 0,05$ fueron considerados como significativos. El software SPSS 14.0 para Windows (SPSS, Chicago, IL) fue utilizado para llevar a cabo todos los análisis estadísticos.

3. Resultados y discusión

Contenido de bioactivos totales y capacidad antioxidante ABTS^{•+} en los hipocótilos de tres ecotipos de maca durante la cosecha

Con el fin de explicar la naturaleza de los compuestos fenólicos, fueron determinados por espectrofotometría, compuestos fenólicos totales, flavanoides totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante ABTS^{•+}. El contenido de compuestos fenólicos totales es significativamente mayor en los hipocótilos de maca roja, 225,05 ± 0,65 mg EAG 100 g⁻¹ MS (71,14 ± 0,21 mg EAG 100 g⁻¹ MF (materia fresca), respecto a la maca amarilla 193,85 ± 0,90 mg EAG 100 g⁻¹ MS (58,39 ± 0,27 mg EAG 100 g⁻¹ MF) y maca negra 171,60 ± 0,64 mg EAG 100 g⁻¹ MS (57,84 ± 0,21 mg EAG 100 g⁻¹ MF) (Tabla 1). Campos *et al.* (2006), encontraron que los genotipos de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) púrpuras presentaron el mayor contenido de compuestos fenólicos. Los valores encontrados en este trabajo son similares a los determinados por Chirinos *et al.* (2009) para 6 genotipos de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.), se confirma que los

genotipos púrpuras presentan un mayor valor. Los genotipos de mashua púrpuras ARB 5241 y DP 0224, presentaron 1310 y 1290 mg EAG 100 g⁻¹ MS, respectivamente (Chirinos *et al.*, 2007b), superiores a los 225,05 ± 0,65 mg EAG 100 g⁻¹ MS de la maca roja, mientras que el genotipo de oca púrpura COC-450 con 161,8 mg EAG 100 g⁻¹ MF es mayor a los 71,14 ± 0,21 mg EAG 100 g⁻¹ MF de la maca roja; por lo tanto, estos recursos andinos pueden ser considerados como fuente importante de compuestos fenólicos en la alimentación cotidiana del hombre andino.

Zevallos-Concha *et al.* (2016) reportaron que el extracto hidroalcohólico de maca negra (1,35 g de ácido gálico 100 g⁻¹ de extracto) presentó mayor contenido de polifenoles que el extracto hidroalcohólico de maca roja (1,16 g de ácido gálico 100 g⁻¹ de extracto), la diferencia podría deberse al tipo de extracción y forma de expresión de los resultados. No se observaron diferencias significativas en el contenido de flavanoides totales de los ecotipos amarilla, 2,39 ± 0,14 mg EC 100 g⁻¹ MS (0,72 ± 0,05 mg EC 100 g⁻¹ MF) y negra, 2,47 ± 0,12 mg EC 100 g⁻¹ MS (0,83 ± 0,04 mg EC 100 g⁻¹ MF), pero sí de ambos respecto a la maca roja que reportó el mayor valor, 4,51 ± 0,01 mg EC 100 g⁻¹ MS (1,43 ± 0,003 mg EC 100 g⁻¹ MF); similarmente, los cultivares de mashua y oca púrpuras, presentaron los valores mayores, 5,3 mg EC g⁻¹ MS y 10,7 mg EC 100 g⁻¹ MF, respectivamente (Chirinos *et al.*, 2007a; Chirinos *et al.*, 2009). No se detectaron flavonoides totales en ninguno de los hipocótilos de maca estudiados.

En lo que concierne a antocianinas totales, en la maca roja se determinó, 28,58 ± 0,40 mg EC3G 100 g⁻¹ MS (9,03 ± 0,12 mg EC3G 100 g⁻¹ MF), estos pigmentos se localizan principalmente en la cáscara, más no en la pulpa. Si comparamos el contenido de antocianinas totales en genotipos de mashua (50 a 205 mg EC3G 100 g⁻¹ MF) y oca (0,53 a 47,4 mg EC3G100 g⁻¹ MF) (Campos *et al.*, 2006; Chirinos *et al.*, 2009), resultan notablemente superiores a los de maca, debido a que el pigmento lo contienen tanto en la cáscara como en la pulpa.

Se observaron diferencias significativas en la capacidad antioxidante ABTS^{•+} entre los tres ecotipos de maca negra 23,48 ± 0,06 µmol ET g⁻¹ MS (8,12 ± 0,02 µmol ET g⁻¹ MF), amarilla 25,25 ± 0,09 µmol ET g⁻¹ MS (7,32 ± 0,03 µmol ET g⁻¹ MF) y roja 25,84 ± 0,19 µmol ET g⁻¹ MS (8,14 ± 0,06 µmol ET g⁻¹ MF).

Tabla 1

Contenido de compuestos fenólicos totales, flavanoides totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante ABTS** en hipocótilos de tres ecotipos de maca durante la cosecha

	Ecotipos		
	Amarilla	Roja	Negra
Compuestos fenólicos totales (mg EAG 100 g ⁻¹ MS) ^A	193,85 ± 0,90 ^b	225,05 ± 0,65 ^c	171,69 ± 0,64 ^a
Flavanoides totales (mg EC 100 g ⁻¹ MS) ^A	2,39 ± 0,14 ^a	4,51 ± 0,01 ^b	2,47 ± 0,12 ^a
Flavonoides totales (mg EQ 100 g ⁻¹ MS) ^A	ND	ND	ND
Antocianinas totales (mg EC3G 100 g ⁻¹ MS) ^A	ND	28,58 ± 0,40	ND
Capacidad antioxidante ABTS** (μmol ET g ⁻¹ MS) ^A	25,25 ± 0,09 ^b	25,84 ± 0,19 ^c	23,48 ± 0,06 ^a

^A Resultados promedio ± SD (n=3). ND: no detectado. Valores promedios dentro de una fila con diferentes letras en superíndice son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En 11 genotipos de mashua, la capacidad antioxidante hidrofílica varió de 955 a 9800 μg TE g⁻¹ MF (3,82 a 39,15 μmol ET g⁻¹ MF), los genotipos púrpuras mostraron los valores más altos ~4,8 veces superior al ecotipo rojo (Campos *et al.*, 2006). Los valores obtenidos en maca son similares a los reportados para genotipos de oca, la capacidad antioxidante ABTS** de estos varió de 1,1 a 8,9 μmol ET g⁻¹ MF (Chirinos *et al.*, 2009). Extractos acuosos de maca de diferentes concentraciones (0,03, 1,0 y 3,0 mg·mL⁻¹) tuvieron porcentajes de inhibición del radical libre DPPH (100 μM) de 21,64 ± 0,02, 55,40 ± 0,19 y 71,38 ± 0,31, respectivamente, evidenciando actividad antioxidante ascendente (Sandoval *et al.*, 2002).

Contenido de compuestos fenólicos totales en los hipocótilos de tres ecotipos de maca durante la pre-cosecha y secado natural post-cosecha

Durante la etapa pre-cosecha entre ecotipos, a los 90 y 45 días, el contenido de compuestos fenólicos totales no difieren entre los hipocótilos de maca roja y negra, pero son significativamente ($p < 0,05$) mayores que los hipocótilos de maca amarilla; sin embargo, entre los 30 y 15 días, la maca amarilla y negra presentan resultados similares, pero significativamente menores que la maca roja (Tabla 2). Los hipocótilos amarillo y rojo aumentaron significativamente ($p < 0,05$) desde 90 días antes de la cosecha hasta la cosecha, la maca negra mostró una tendencia variable, disminuyeron en el margen de 90 a 45 días, entre los 45 a 30 días no mostraron diferencia significativa y de los 30 días pre-cosecha a la cosecha este se incrementó. Los hipocótilos de maca amarilla, roja y negra, presentaron un incremento del 21,71, 26,55 y 5,64%, respectivamente. Chirinos *et al.* (2007a) desde 2,5 meses antes de la cosecha de 10 cultivares de mashua, encontraron valores promedio

ascendentes que oscilaron entre 9 a 21 mg equivalentes de ácido clorogénico (EACG) g⁻¹ MS, los cultivares de mashua púrpuras presentaron los valores más altos, lo cual concuerda con los resultados obtenidos para la maca roja, respecto a los ecotipos amarillo y negro. Debido a que son muy escasos los estudios en la etapa de pre-cosecha, sobre todo en brasicáceas, se reporta el caso de un proceso de germinación para evidenciarla como una etapa de biosíntesis. Xue *et al.* (2016) encontraron que, durante la germinación de tres tipos de frijoles, el contenido total de compuestos fenólicos se incrementó significativamente ($p < 0,05$), en el caso de la soya este incremento fue de 1,51 veces (6,67 mg GAE g⁻¹ MF) que la soya no germinada. Durante el secado natural post-cosecha, entre ecotipos, a los 15 días se observaron diferencias significativas a $p < 0,05$ entre los tres ecotipos, correspondiendo el mayor valor a la maca roja, seguido de la maca amarilla y maca negra. A los 30, 45, 60, 75 y 90 días de secado, el contenido de fenoles totales se incrementó gradualmente en los tres ecotipos, observándose a los 90 días una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tres ecotipos, siendo el mayor valor para la maca roja, seguido de la maca negra y maca amarilla. La maca amarilla, roja y negra durante toda la etapa (15, 30, 45, 60, 75 y 90 días de secado), evidenciaron un incremento significativo ($p < 0,05$) de 44,51, 45,75 y 52,93%, respectivamente. Chirinos *et al.* (2007a), en los tubérculos de mashua púrpuras, DP 0224 y AGM 5109, durante el soleado post-cosecha, entre los 0 y 14 días, observaron un incremento del 12 y 64%, respectivamente; mientras que el cultivar ARB 5241 una disminución del 12%, todos los cultivares púrpuras mostraron una disminución después de los 14 días y en los cultivares amarillos se incrementaron al cabo de 35 días.

Tabla 2

Contenido de compuestos fenólicos totales en los hipocótilos de tres ecotipos de maca durante la pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha

Días	Ecotipos de maca			
	Amarilla (mg EAG 100 g ⁻¹ MS)*	Roja (mg EAG 100 g ⁻¹ MS)*	Negra (mg EAG 100 g ⁻¹ MS)*	
Pre-cosecha	90	151,76 ± 2,21 ^{Aa}	165,30 ± 3,77 ^{Ba}	162,01 ± 0,26 ^{Bb}
	45	152,19 ± 2,67 ^{Aa}	163,02 ± 3,70 ^{Ba}	158,73 ± 0,40 ^{Ba}
	30	157,49 ± 0,28 ^{Ab}	172,62 ± 0,45 ^{Bb}	158,07 ± 0,26 ^{Aa}
	15	167,17 ± 2,31 ^{Ac}	182,98 ± 1,75 ^{Bc}	163,75 ± 2,97 ^{Ab}
Cosecha		193,85 ± 0,90 ^{Bd}	225,05 ± 0,65 ^{Cd}	171,69 ± 0,64 ^{Ac}
Post-cosecha	15	212,10 ± 1,84 ^{Be}	247,47 ± 0,71 ^{Ce}	203,03 ± 1,95 ^{Ad}
	30	215,04 ± 1,63 ^{Af}	255,62 ± 2,44 ^{Bf}	212,20 ± 1,67 ^{Ae}
	45	224,02 ± 1,73 ^{Ag}	260,62 ± 1,23 ^{Cg}	228,78 ± 1,10 ^{Bf}
	60	237,64 ± 1,40 ^{Bh}	284,55 ± 1,20 ^{Ch}	230,17 ± 1,44 ^{Af}
	75	301,33 ± 0,23 ^{Ai}	312,23 ± 1,73 ^{Bi}	311,73 ± 1,09 ^{Bg}
	90	349,34 ± 1,35 ^{Aj}	414,86 ± 0,99 ^{Cj}	364,72 ± 1,47 ^{Bh}

*Resultados promedio ± SD (n=3). Promedios dentro de una fila con diferentes letras superíndice mayúsculas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre los tres ecotipos de maca en un determinado tiempo pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha. Promedios dentro de una columna con diferentes letras superíndice minúsculas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) para un ecotipo de maca durante todo el proceso pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha.

En la congelación rápida de brócoli sin escaldar seguido de un almacenamiento a 4 °C durante 7 días, el contenido de compuestos fenólicos se incrementó significativamente de 521,0 ± 5,06 mg EAG 100⁻¹ MS a 679,10 ± 2,26 mg EAG 100⁻¹ MS al quinto día, al séptimo día disminuyó a 636,00 ± 12,61 mg EAG 100⁻¹ MS, este aumento estaría relacionado como respuesta al daño ocasionado por la congelación (Patras *et al.*, 2011). Varios estudios evidenciaron un incremento en el contenido de polifenoles en vegetales almacenados a temperaturas de refrigeración, atmósferas modificadas, como respuesta al estrés por frío, tiempos más prolongados de almacenamiento resultan en una disminución del contenido de fenoles y una pérdida de su calidad sensorial, siendo el efecto mayor durante el almacenamiento a 20 °C (Cartea *et al.*, 2011).

El incremento de fenoles totales podría deberse a la liberación de grupos hidroxilo por la hidrólisis de flavonoides glicosilados y la liberación de compuestos fenólicos complejos presentes en las paredes celulares (Ordóñez-Santos *et al.*, 2009). Se ha observado que el estrés provocado por el daño celular y la disminución de la temperatura promueven el aumento de la actividad de la PAL (EC 4.3.1.5) y su posterior oxidación de los compuestos fenólicos por la actividad de la tirosinasa (EC 1.14.18.1) o lacasa (EC 1.10.3.2) (Amodio *et al.*, 2014). Se sabe que la calidad del ajo, composición química y contenido de compuestos bioactivos, es altamente dependiente de las condiciones previas y posteriores a la cosecha, como el genotipo, las prácticas de cultivo, las condiciones de crecimiento y el manejo post-cosecha (Martins *et al.*, 2016). Los procesos y parámetros aplicados a los alimentos, sean estos naturales o

tecnológicos, afectan a su contenido nutricional y de bioactivos, la col blanca fresca con 5,70 ± 0,13 mg EAG g⁻¹ MS de compuestos fenólicos totales, por efecto del blanqueado por 30 s y secado a 60 °C disminuyó a 5,79 ± 0,10 y 4,13 ± 0,12 mg EAG g⁻¹ respectivamente (Tao *et al.*, 2019).

Capacidad antioxidante ABTS^{•+} en los hipocótilos de tres ecotipos de maca durante la pre-cosecha y secado natural post-cosecha

Durante la pre-cosecha entre ecotipos, se observaron diferencias significativas en la capacidad antioxidante, siendo mayor en la maca roja (Tabla 3). En los hipocótilos de maca amarilla, se observó una diferencia significativa entre los 90 y 15 días pre-cosecha; siendo similares entre los 45 y 30 días, el incremento en esta etapa fue, de 16,58 ± 0,18 μmol ET g⁻¹ MS (5,18 ± 0,06 μmol ET g⁻¹ MF) a 25,25 ± 0,09 μmol ET g⁻¹ MS (7,32 ± 0,03 μmol ET g⁻¹ MF). En los hipocótilos de maca roja y negra se confirma un comportamiento variable, el incremento en la maca roja fue de 19,56 ± 0,66 μmol ET g⁻¹ MS (6,05 ± 0,21 μmol ET g⁻¹ MF) a 25,84 ± 0,19 μmol ET g⁻¹ MS (8,14 ± 0,06 μmol ET g⁻¹ MF) y en la maca negra el incremento fue de 16,03 ± 0,18 μmol ET g⁻¹ MS (4,89 ± 0,05 μmol ET g⁻¹ MF) a 23,48 ± 0,06 μmol ET g⁻¹ MS (8,12 ± 0,02 μmol ET g⁻¹ MF). Durante la pre-cosecha, los extractos de los hipocótilos de maca roja, negra y amarilla, incrementaron su capacidad antioxidante ABTS^{•+} en 24,30%, 31,73% y 34,34% respectivamente. En un estudio realizado por Chirinos *et al.* (2007a) con 10 cultivares de mashua entre 5 a 7,5 (cosecha) meses después de la siembra, reportaron resultados ascendentes de capacidad antioxidante ABTS^{•+} que oscilaron entre 80 a 378 μmol ET g⁻¹ MS, los cultivares de mashua púrpuras, similar al

caso de maca roja, presentaron los valores más altos. Son escasos los estudios pre-cosecha en brasicáceas andinas. Se sabe que las semillas germinadas de frejoles, mostraron una mayor capacidad antioxidante que las semillas no germinadas cualquiera sea el método de estimación, a los 5 días de germinación, la capacidad antioxidante ABTS^{•+} de la soya se incrementó un 167,6% (Xue *et al.*, 2016). Durante el secado natural post-cosecha, se observó una tendencia general ascendente entre ecotipos, siendo mayor la capacidad antioxidante ABTS^{•+} en la maca roja, seguido de la maca negra y por último la maca amarilla. En la maca amarilla el incremento de la capacidad antioxidante fue de 69,7%, en la maca roja 94,8% y en la maca negra 105,4%. Los resultados obtenidos en este trabajo no corroboran los estudios de evaluación de la actividad antioxidante ABTS^{•+} durante el soleado post-cosecha de mashua, pues se observó una tendencia de acumulación y elevación de la actividad antioxidante con el paso del tiempo en la maca, al contrario de los estudios de mashua que fue variable y disminuyendo gradualmente al paso del tiempo (Chirinos *et al.*, 2007a). En otros recursos biológicos la capacidad antioxidante ABTS^{•+} de dos muestras de cáscara de papa liofilizadas, aumentaron significativamente a las 2, 4 y 8 semanas de almacenamiento a -20, 4 y 25 °C, debido probablemente a la producción de glicocalcoides como respuesta al estrés, a la ruptura de los compuestos polifenólicos durante las primeras etapas de almacenamiento, así como a las interacciones sinérgicas entre los componentes individuales (Al-Weshahy *et al.*, 2013), contradictoriamente la actividad antioxidante FRAP de inflorescencias de brócoli frescos,

al momento de su cosecha reportó 3,96 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ MF, empacados en plásticos de plástico y almacenados a 15 °C \pm 1 y 55 \pm 2% de HR y a 4 \pm 0,5 °C y 50 \pm 2% de HR, después de 6 días, reportaron una disminución del 53,8% 49,5%, respectivamente (Nath *et al.*, 2011). La aplicación de un proceso tecnológico, no siempre genera un incremento de la capacidad antioxidante, puede ocurrir un efecto inverso, lo cual depende de la naturaleza del material biológico y de las condiciones a la que es sometido.

Análisis por HPLC-PDA de los compuestos fenólicos en los hipocótilos de tres ecotipos de maca durante la pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha

Se ha determinado las características cromatográficas y espectrales de los compuestos fenólicos (tiempo de retención, espectro de absorción, longitud de onda máxima y área relativa) para la identificación y cuantificación de los compuestos fenólicos durante la pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha (Chirinos *et al.*, 2008). En los tres hipocótilos de maca, son significativos: seis derivados del flavanol (flavan-3-ol), cuatro derivados del ácido benzoico y uno derivado del ácido α -cumárico (Figura 1). En los hipocótilos de maca amarilla, roja y negra, en el momento de la cosecha, el total de los seis derivados del flavanol (flavan-3-ol), representaron, 95,38 \pm 4,00 (84,92%), 105,84 \pm 3,12 (82,84%) y 116,53 \pm 3,67 (84,26%) mg EC 100 g⁻¹ MS, el total de los cuatro derivados del ácido benzoico, 14,90 \pm 0,95 (13,27%), 18,53 \pm 0,25 (14,60%) y 18,53 \pm 1,19 (13,40%) mg EAG 100 g⁻¹ MS y un derivado del ácido α -cumárico, 2,04 \pm 0,01 (1,82%), 3,27 \pm 0,04 (2,56%) y 3,23 \pm 0,04 (2,34%) mg EAG 100 g⁻¹ MS, respectivamente.

Tabla 3

Capacidad antioxidante ABTS^{•+} en los hipocótilos de tres ecotipos de maca durante la pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha

Días	Ecotipos de maca			
	Amarilla ($\mu\text{mol ET g}^{-1}$ MS)*	Roja ($\mu\text{mol ET g}^{-1}$ MS)*	Negra ($\mu\text{mol ET g}^{-1}$ MS)*	
Pre-cosecha	90	16,58 \pm 0,18 ^{Aa}	19,56 \pm 0,66 ^{Ba}	16,03 \pm 0,18 ^{Aa}
	45	19,71 \pm 0,12 ^{Ab}	22,87 \pm 0,34 ^{Cc}	21,91 \pm 0,44 ^{Bd}
	30	19,84 \pm 0,16 ^{Ab}	21,59 \pm 0,63 ^{Cb}	20,70 \pm 0,24 ^{Bb}
	15	23,81 \pm 0,23 ^{Bc}	24,73 \pm 0,19 ^{Cd}	21,46 \pm 0,30 ^{Ac}
Cosecha	25,25 \pm 0,09 ^{Bd}	25,84 \pm 0,19 ^{Ce}	23,48 \pm 0,06 ^{Ae}	
Post-cosecha	15	27,26 \pm 0,22 ^{Ae}	32,53 \pm 0,24 ^{Cf}	30,11 \pm 0,12 ^{Bf}
	30	29,44 \pm 0,20 ^{Af}	35,92 \pm 0,13 ^{Cg}	31,31 \pm 0,13 ^{Bg}
	45	32,37 \pm 0,13 ^{Ag}	36,55 \pm 0,21 ^{Ch}	33,43 \pm 0,12 ^{Bh}
	60	34,76 \pm 0,22 ^{Ah}	36,87 \pm 0,13 ^{Bh}	34,61 \pm 0,12 ^{Bi}
	75	36,91 \pm 0,14 ^{Ai}	39,59 \pm 0,14 ^{Bi}	37,78 \pm 0,16 ^{Bi}
	90	42,84 \pm 0,21 ^{Aj}	50,33 \pm 0,11 ^{Cj}	48,23 \pm 0,22 ^{Bk}

*Resultados son promedios \pm SD (n=3). Promedios dentro de una fila con diferentes letras superíndice mayúsculas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre los tres ecotipos de maca en un determinado tiempo pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha. Promedios dentro de una columna con diferentes letras superíndice minúsculas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) para un ecotipo de maca durante todo el proceso pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha.

Chirinos *et al.* (2008) en los genotipos de mashua, ARB 5241 (piel púrpura/pulpa amarilla), DP 0224 (piel púrpura/pulpa púrpura) y ARB 5576 (piel amarilla/pulpa amarilla), determinaron cantidades importantes de epigallocatequina, derivados del ácido *p*-hidroxibenzoico, derivados del ácido cinámico, derivados de galocatequina y procianidina B₂. La fracción acuosa de los genotipos de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.), COC-450 (piel púrpura/pulpa amarilla-púrpura) y M-2032 (piel amarilla/pulpa amarilla) registraron perfiles similares de compuestos fenólicos con diferencias en la concentración de cada compuesto individual, identificaron derivados del ácido cafeico, derivados de ácido vanílico, derivados del ácido cinámico y otros picos que parecen corresponder a formas ligadas de catequina, luteolina y apigenina (Chirinos *et al.*, 2009).

En los hipocótilos de maca amarilla, el pico 1 (TR = 28,74 min), derivado del flavanol (flavan-3-ol), disminuyó gradualmente desde 90 días antes de la cosecha hasta el momento de la cosecha, de $55,29 \pm 0,90$ mg 100 g⁻¹ MS a $34,17 \pm 2,15$ mg 100 g⁻¹ MS. Durante el secado natural post-cosecha, se observó un incremento importante de este compuesto a los 30 días ($56,10 \pm 0,35$ mg 100 g⁻¹ MS) y desde este momento hacia adelante ocurren pérdidas significativas

hasta $9,62 \pm 0,24$ mg 100 g⁻¹ MS a los 90 días. El pico 3 (TR = 43,19 min), derivado del ácido *o*-cumárico, desde 90 días antes de la cosecha hasta el momento de la cosecha tuvieron un comportamiento variable, de $3,03 \pm 0,02$ mg 100 g⁻¹ MS aumentó de $4,19 \pm 0,03$ mg 100 g⁻¹ MS, luego disminuyó a $1,84 \pm 0,06$ mg 100 g⁻¹ MS y seguidamente aumentó a $2,04 \pm 0,01$ mg 100 g⁻¹ MS. A 30 días del secado natural post-cosecha disminuyó significativamente a $0,45 \pm 0,02$ mg 100 g⁻¹ MS, no es detectado a los 60 y 90 días de dicho periodo. El pico 5 (TR = 54,69 min), derivado del ácido benzoico, 90 días antes de la cosecha tuvo una concentración de $24,36 \pm 0,44$ mg 100 g⁻¹ MS, disminuyendo a $12,03 \pm 0,83$ mg 100 g⁻¹ MS en el momento de la cosecha. A 30 días del secado natural post-cosecha, este compuesto disminuyó significativamente hasta $2,04 \pm 0,02$ mg 100 g⁻¹ MS y no es detectado a los 60 y 90 días de secado natural post-cosecha. El pico 11 (TR = 87,40 min), derivado del flavanol (flavan-3-ol), 90 días antes de la cosecha su contenido fue $18,17 \pm 1,13$ mg 100 g⁻¹ MS incrementándose a $27,83 \pm 1,19$ mg 100 g⁻¹ MS al momento de la cosecha. A los 90 días del secado natural post-cosecha este disminuyó significativamente hasta $1,73 \pm 0,12$ mg 100 g⁻¹ MS (Tabla 4).

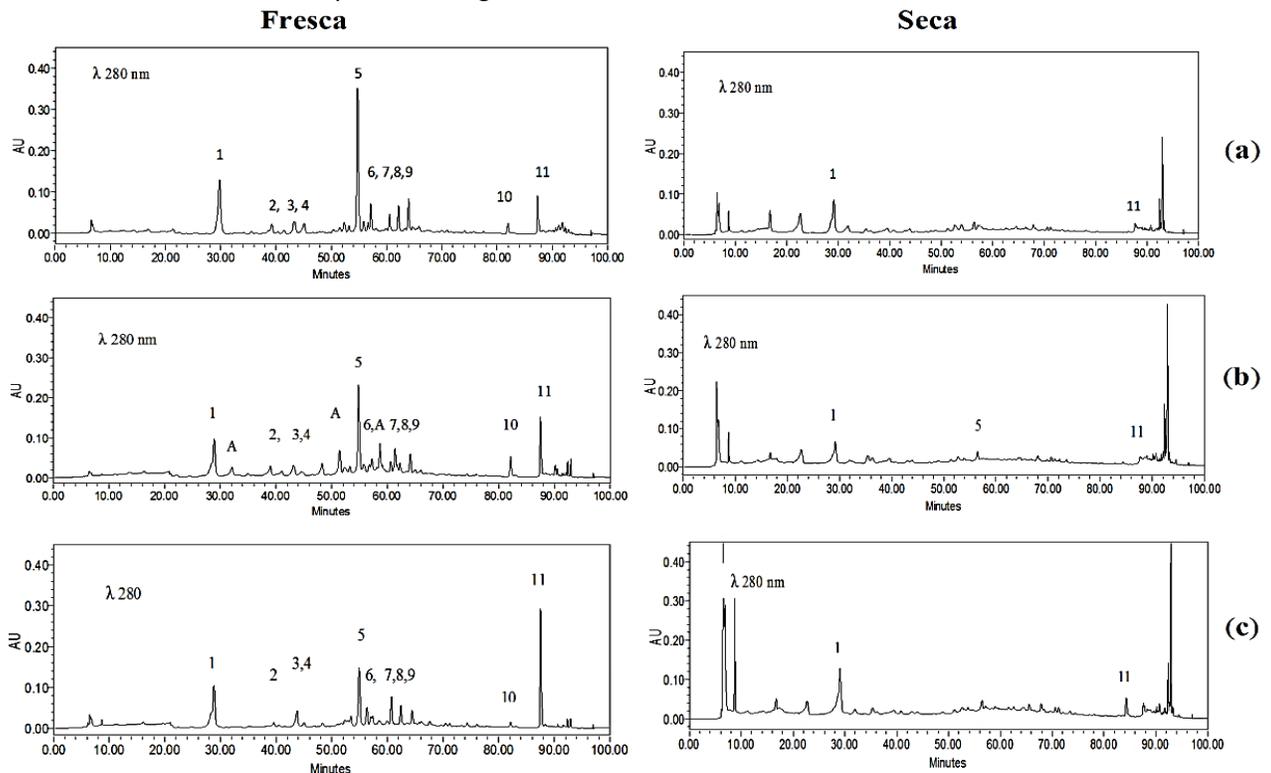


Figura 1. Perfiles químicos de compuestos fenólicos en HPLC-PDA de la fracción acuosa a 280 nm: (a) maca amarilla, (b) maca roja, y (c) maca negra. A: antocianina.

Tabla 4Contenido de compuestos fenólicos por HPLC-PDA en los hipocótilos de tres ecotipos de maca durante la pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha (mg 100 g⁻¹ MS)*

Denominación de los compuestos fenólicos			Pre-cosecha			Cosecha	Post-cosecha			
Amarilla	Picos	T.R.	90	45	30		30	60	90	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	1	28,74	55,29 ± 0,90 ^F	40,03 ± 2,41 ^D	47,61 ± 0,80 ^E	34,17 ± 2,15 ^C	56,10 ± 0,35 ^F	30,20 ± 1,05 ^B	9,62 ± 0,24 ^A	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	2	39,01	3,92 ± 0,08 ^B	5,61 ± 0,16 ^D	2,03 ± 0,24 ^A	4,78 ± 0,21 ^C	ND	ND	ND	
Derivado del ácido <i>o</i> -cumárico	3	43,19	3,03 ± 0,02 ^D	4,19 ± 0,03 ^E	1,84 ± 0,06 ^B	2,04 ± 0,01 ^C	0,45 ± 0,02 ^A	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	4	44,72	1,77 ± 0,04 ^B	2,38 ± 0,03 ^C	2,33 ± 0,08 ^C	0,85 ± 0,05 ^A	ND	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	5	54,69	24,36 ± 0,44 ^E	9,83 ± 0,61 ^C	7,41 ± 0,20 ^B	12,03 ± 0,83 ^D	2,04 ± 0,02 ^A	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	6	57,14	3,42 ± 0,13 ^C	1,00 ± 0,08 ^A	1,32 ± 0,03 ^B	1,23 ± 0,02 ^B	ND	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	7	60,51	1,96 ± 0,07 ^C	2,04 ± 0,06 ^C	2,00 ± 0,03 ^C	0,79 ± 0,05 ^A	1,18 ± 0,02 ^B	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	8	62,20	10,78 ± 0,55 ^C	3,25 ± 0,12 ^A	15,15 ± 0,24 ^D	10,26 ± 0,21 ^C	4,31 ± 0,16 ^B	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	9	64,11	14,47 ± 1,74 ^D	2,98 ± 0,12 ^A	2,58 ± 0,22 ^A	10,41 ± 0,13 ^C	5,76 ± 0,03 ^B	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	10	81,97	5,65 ± 0,17 ^B	7,55 ± 0,12 ^C	3,77 ± 0,23 ^A	7,93 ± 0,11 ^D	ND	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	11	87,40	18,17 ± 1,13 ^B	29,20 ± 1,32 ^E	22,22 ± 1,25 ^C	27,83 ± 1,19 ^{DE}	25,72 ± 0,82 ^D	1,94 ± 0,02 ^A	1,73 ± 0,12 ^A	
Total			142,82 ± 5,26 ^{Eab}	108,06 ± 5,05 ^{Da}	108,25 ± 3,36 ^D	112,32 ± 4,97 ^{Da}	95,56 ± 1,42 ^{Cb}	32,14 ± 1,07 ^{Ba}	11,34 ± 0,36 ^{Aa}	
Roja										
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	1	28,74	38,73 ± 2,20 ^D	52,31 ± 2,11 ^E	66,71 ± 1,83 ^F	32,49 ± 0,34 ^C	74,19 ± 0,63 ^G	25,36 ± 1,91 ^B	19,89 ± 1,91 ^A	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	2	39,01	5,15 ± 0,18 ^D	2,30 ± 0,11 ^B	2,83 ± 0,09 ^C	2,03 ± 0,12 ^A	2,91 ± 0,13 ^C	ND	ND	
Derivado del ácido <i>o</i> -cumárico	3	43,19	2,68 ± 0,06 ^C	3,13 ± 0,02 ^D	3,13 ± 0,04 ^B	3,27 ± 0,04 ^E	1,89 ± 0,01 ^A	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	4	44,72	1,28 ± 0,03 ^C	1,23 ± 0,03 ^B	0,81 ± 0,02 ^A	1,63 ± 0,02 ^D	ND	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	5	54,69	18,65 ± 0,14 ^E	10,68 ± 0,53 ^C	11,33 ± 0,48 ^C	12,74 ± 0,12 ^D	4,33 ± 0,22 ^B	1,95 ± 0,02 ^A	1,38 ± 0,02 ^A	
Derivado del ácido benzoico	6	57,14	2,25 ± 0,06 ^D	0,94 ± 0,01 ^A	1,65 ± 0,02 ^B	2,08 ± 0,05 ^C	ND	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	7	60,51	1,73 ± 0,03 ^B	2,19 ± 0,03 ^C	2,33 ± 0,01 ^D	2,21 ± 0,06 ^C	0,95 ± 0,03 ^A	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	8	62,20	17,90 ± 1,11 ^D	13,40 ± 0,06 ^C	12,88 ± 0,05 ^C	4,09 ± 0,08 ^A	7,30 ± 0,13 ^B	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	9	64,11	13,72 ± 0,11 ^E	7,18 ± 0,10 ^B	5,32 ± 0,03 ^A	10,03 ± 0,13 ^D	7,89 ± 0,10 ^C	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	10	81,97	15,04 ± 0,22 ^C	6,15 ± 0,18 ^B	2,95 ± 0,11 ^A	6,10 ± 0,12 ^B	ND	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	11	87,40	33,74 ± 1,12 ^E	24,57 ± 1,06 ^C	24,53 ± 0,05 ^C	51,10 ± 2,33 ^F	30,18 ± 0,57 ^D	3,94 ± 0,19 ^B	1,11 ± 0,01 ^A	
Total			150,89 ± 5,26 ^{Eb}	124,09 ± 4,24 ^{Cb}	133,53 ± 2,74 ^D	127,78 ± 3,40 ^{CDb}	129,62 ± 1,82 ^{Cdc}	31,26 ± 2,13 ^{Ba}	22,38 ± 1,94 ^{Ab}	
Negra										
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	1	28,74	55,69 ± 1,12 ^D	64,79 ± 1,46 ^E	43,78 ± 0,95 ^B	38,16 ± 1,72 ^A	52,55 ± 1,50 ^{CD}	49,65 ± 2,07 ^C	42,70 ± 2,04 ^B	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	2	39,01	1,93 ± 0,11 ^B	1,35 ± 0,15 ^A	1,94 ± 0,21 ^B	1,62 ± 0,12 ^A	ND	ND	ND	
Derivado del ácido <i>o</i> -cumárico	3	43,19	0,81 ± 0,03 ^C	0,39 ± 0,02 ^A	0,72 ± 0,05 ^B	3,23 ± 0,04 ^D	ND	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	4	44,72	0,71 ± 0,03 ^A	1,30 ± 0,02 ^B	1,93 ± 0,05 ^D	1,75 ± 0,05 ^C	ND	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	5	54,69	21,57 ± 0,49 ^D	22,65 ± 0,84 ^E	8,49 ± 0,32 ^B	11,42 ± 0,62 ^C	0,71 ± 0,05 ^A	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	6	57,14	3,18 ± 0,06 ^C	2,84 ± 0,28 ^B	0,99 ± 0,06 ^A	1,20 ± 0,05 ^A	ND	ND	ND	
Derivado del ácido benzoico	7	60,51	1,60 ± 0,01 ^A	1,67 ± 0,02 ^A	1,28 ± 0,02 ^A	4,16 ± 0,47 ^B	ND	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	8	62,20	8,06 ± 0,18 ^B	8,43 ± 0,13 ^C	9,34 ± 0,21 ^D	9,95 ± 0,19 ^E	0,59 ± 0,02 ^A	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	9	64,11	8,71 ± 0,08 ^C	2,48 ± 0,07 ^A	7,86 ± 0,21 ^B	8,03 ± 0,11 ^B	ND	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	10	81,97	7,98 ± 0,11 ^C	9,70 ± 0,12 ^D	4,33 ± 0,11 ^B	3,29 ± 0,09 ^A	ND	ND	ND	
Derivado del flavanol (flavan-3-ol)	11	87,40	27,65 ± 1,52 ^C	7,90 ± 0,09 ^B	53,00 ± 1,68 ^D	55,48 ± 1,44 ^E	1,46 ± 0,18 ^A	2,92 ± 0,01 ^A	3,89 ± 0,19 ^A	
Total			137,88 ± 3,74 ^{Da}	123,49 ± 3,19 ^{Cb}	133,65 ± 3,87 ^D	138,30 ± 4,90 ^{Db}	54,72 ± 1,73 ^{Ba}	53,17 ± 2,10 ^{Abb}	46,59 ± 2,23 ^{Ac}	

*Promedio de tres repeticiones ± SD (n=3). Promedios dentro de una fila con diferentes letras superíndice mayúsculas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) los compuestos fenólicos HPLC-PDA de un ecotipo de maca durante todo el proceso pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha. Promedios dentro de una columna con diferentes letras superíndice minúsculas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) el total de compuestos fenólicos HPLC-PDA entre los tres ecotipos de maca en un determinado tiempo pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha.

Los picos, 2 (TR = 39,01 min), derivado del flavanol (flavan-3-ol), 4 (TR = 44,72 min), derivado del ácido benzoico, 6 (TR = 57,14 min), derivado del ácido benzoico y 10 (TR = 81,97 min), derivado del flavanol (flavan-3-ol) a 30 días de secado natural post-cosecha no fueron detectados, sumándose a estos los picos, 3 (TR = 43,19 min), derivado del ácido *o*-cumárico, 5 (TR = 64,59 min), derivado del ácido benzoico, 7 (TR = 60,51 min), derivado del ácido benzoico, 8 (TR = 62,20 min), derivado del flavanol (flavan-3-ol) y 9 (TR = 64,11 min), derivado del flavanol (flavan-3-ol), que tampoco fueron detectados a partir de los 60 días para adelante, la cuantificación final en esta etapa correspondió solamente a los picos 1 y 11.

En los hipocótilos de maca roja y negra el análisis y patrón de comportamiento variable fue similar con ligeras modificaciones. Camargo *et al.* (2015) para explicar el comportamiento variable de los compuestos fenólicos HPLC-PDA, ácido ascórbico y actividad antioxidante durante la maduración/senescencia, ocurre un desequilibrio de la homeostasis redox que desencadenan dichas respuestas. En los resultados obtenidos en este trabajo se observó tendencias de incremento y disminución de los diferentes compuestos fenólicos durante la pre-cosecha, esto podría estar relacionado con la complejidad de las rutas metabólicas de biosíntesis y degradación. En el secado natural post-cosecha, los hipocótilos de maca amarilla, roja y negra disminuyeron los compuestos fenólicos HPLC-PDA en 89,90%, 82,49% y 66,31% respectivamente. Considerando la germinación como un proceso pre-cosecha, los compuestos fenólicos HPLC-PDA en brotes de *Brassica oleracea* se incrementaron en forma significativa ($p < 0,05$) a 1138 mg kg⁻¹ MS, expresados como derivados del ácido hidroxicinámico, después de su cosecha, almacenadas a 4 °C durante 7 días continuó incrementándose, un almacenamiento prolongado origina un descenso a los 12 días de ~750 mg·kg⁻¹ MS, como resultado de la degradación de los tejidos (Valea *et al.*, 2015). En el momento de la cosecha, se observó diferencias significativas a $p < 0,05$ entre los hipocótilos de maca amarilla y roja, amarilla y negra, pero no entre los hipocótilos de maca roja y negra, el mayor valor se observó en la maca negra, 138,30 ± 4,90 mg 100 g⁻¹ MS. Durante el secado natural post-cosecha, los tres ecotipos de maca sufren una disminución de su contenido de compuestos fenólicos totales; sin embargo, a los 30 días, el ecotipo rojo

todavía mantiene un contenido similar al que presentó en la etapa pre-cosecha y cosecha (129,62 ± 1,82 mg 100 g⁻¹ MS). A los 90 días del secado natural post-cosecha se evidenció diferencia significativa a $p < 0,05$, entre los tres ecotipos, el mayor contenido se observó en la maca negra, 46,59 ± 2,23 mg 100 g⁻¹ MS. Con estos resultados, la serie de eventos que ocurren durante el secado natural post-cosecha afectan significativamente al contenido de compuestos fenólicos individuales identificados como derivados del flavanol (flavan-3-ol), ácido benzoico y ácido *o*-cumárico, los mismos que tienen efecto sobre el contenido total, haciéndose crítico a partir de los 30 días para adelante. Son muy escasos los estudios que evalúen el comportamiento de los compuestos fenólicos individuales en brasicáceas, particularmente en la etapa de pre-cosecha. Odeh *et al.* (2014) estudiaron los compuestos fenólicos determinados por HPLC durante la maduración de frutos de siete cultivares de plantas datileras, encontraron ácido gálico, ácido *p*-hidroxi benzoico, ácido vanílico, ácido cafeico, ácido siringico y ácido ferúlico, registrando incremento en algunos de ellos e incremento y descenso en otros. Similar variación ocurrió en el contenido de siete compuestos fenólicos durante el desarrollo de hojas, tallos y raíces de frijol de palo (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) evaluados en forma simultánea, los autores del trabajo plantean que su variación responde a una correlación entre el equilibrio metabólico de las plantas y las perturbaciones ambientales externas (Liu *et al.*, 2010). Wang *et al.* (2016) en el proceso de maduración de azufaifa (*Ziziphus jujuba* Miller), reportó que individualmente cada compuesto fenólico varió de distinta manera, el ácido clorogénico varió de 47,55 µg⁻¹ MS a 8,01 µg⁻¹ MS y 366,53 µg⁻¹ MS y el ácido *p*-hidroxi benzoico libre varió de 71,35 a 12,54 y 0,14 µg⁻¹ MS. Estos resultados podrían explicar que, durante la etapa de pre-cosecha de los hipocótilos de maca, individualmente cada compuesto fenólico responde fisiológicamente de manera distinta a las condiciones climáticas extremas que se dan en la Meseta de Bombón, debido sobre todo a la extrema variación de la temperatura (-10 a 15 °C), esta respuesta fisiológica podríamos denominarla como “incertidumbre metabólica”. La disminución de los compuestos fenólicos observada en la etapa de secado natural post-cosecha, podrían ser a consecuencia de la ruptura de la estructura celular y al daño por frío ocasionado a

temperaturas por debajo de los 4 °C, tal como lo propone Liu *et al.* (2010).

4. Conclusiones

Los estudios de este trabajo revelaron que la maca fresca representa una fuente importante de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. El perfil químico evidencia que el ecotipo rojo presenta las mayores concentraciones de compuestos fenólicos en comparación al amarillo y al negro. Los análisis por HPLC-PDA revelaron la prevalencia de 11 compuestos fenólicos, con diferentes concentraciones en cada ecotipo y en cada etapa de maduración, tales como, seis derivados del flavanol (flavan-3-ol) (82,84 a 84,92%), cuatro derivados del ácido benzoico (13,27 a 14,69%) y un derivado del ácido o-cumárico (1,82 a 2,56%). El secado post-cosecha en condiciones tradicionales generó una pérdida significativa principalmente de los derivados del ácido benzoico y o-cumárico hasta límites no detectables, toleraron mejor estas condiciones los derivados del flavanol (flavan-3-ol), esta pérdida en la maca amarilla representa el 89,90%, en la maca roja 82,49% y en la maca negra 66,31%. De los resultados se desprende la posibilidad de un secado post-cosecha en condiciones ambientales entre 15 a 30 días, seguido de un escaldado para inactivar enzimas y secado por aire caliente.

Agradecimientos

A la Ing. Katusca Luna Mayta y a la empresa ECOANDINO S.A.C. por la provisión oportuna de las muestras de maca.

ORCID

E. Yábar  <https://orcid.org/0000-0001-6922-0771>

R. Chirinos  <https://orcid.org/0000-0002-9045-7471>

D. Campos  <https://orcid.org/0000-0003-1722-1187>

Referencias bibliográficas

- Al-Weshahy, A.; El-Nokety, M.; Bakhete, M.; Rao, V. 2013. Effect of storage on antioxidant activity of freeze-dried potato peels. *Food Research International* 50(2): 507-512.
- Amodio, M.L.; Derossi, A.; Colelli, G. 2014. Modeling phenolic content during storage of cut fruit and vegetables: A consecutive reaction mechanism. *Journal of Food Engineering* 140: 1-8.
- Armesto, J.; Gómez-Limia, L.G.; Carballo, J.; Martínez, S. 2017. Impact of vacuum cooking and boiling, and refrigerated storage on the quality of galega kale (*Brassica oleracea* var. *acephala* cv. Galega). *LWT - Food Science and Technology* 79: 267-277.
- Arnao, M.; Cano, A.; Acosta, M. 2003. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry* 73(2): 239-244.
- Awika, J.M.; Rooney, L.W.; Wu, X.; Prior, R.L.; Cisneros-Zevallos, L. 2003. Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and Sorghum products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51(23): 6657-6662.
- Camargo, L.; Milanez, J.; Moreno, R.; Cisneros-Zevallos, L. 2015. Post-harvest nutraceutical behaviour during ripening and senescence of 8 highly perishable fruit species from the Northern Brazilian Amazon region. *Food Chemistry* 174: 188-196.
- Campos, D.; Noratto, G.; Chirinos, R.; Arbizu, C.; Roca, W.; Cisneros-Zevallos, L. 2006. Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: Native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón), oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ullucu (*Ullucus tuberosum*). *Journal of the Science of Food and Agricultural* 86(10): 1481-1488.
- Cartea, M.E.; Francisco, M.; Soengas, P.; Velasco, P. 2011. Review Phenolic Compounds in *Brassica* Vegetables. *Molecules* 16(1): 251-280.
- Costa, D.C.; Costa, H.S.; Gonçalves Albuquerque, T.; Ramos, F.; Castilho, M. C.; Sanches-Silva, A. 2015. Advances in phenolic compounds analysis of aromatic plants and their potential applications. *Trends in Food Science & Technology* 45(2): 336-354.
- Chang, C.C.; Yang, M.H.; Wen, H.M.; Chern, J.C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis* 10(3): 178-182.
- Chirinos, R.; Betalalleluz-Pallardel, I.; Huamán, A.; Arbizu, C.; Pedreschi, R.; Campos, D. 2009. HPLC-DAD characterisation of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry* 113(4): 1243-1251.
- Chirinos, R.; Campos, D.; Arbizu, C.; Rogez, H.; Rees, J.-F.; Larondelle, Y.; Noratto, G.; Cisneros-Zevallos, L. 2007a. 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.
- Chirinos, R.; Campos, D.; Costa, N.; Arbizu, C.; Pedreschi, R.; 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.
- Chirinos, R.; Rogez, H.; Campos, D.; Pedreschi, R.; Larondelle, Y. 2007b. Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers. *Separation and Purification Technology* 55(2): 217-225.
- Delcour, J.A.; Devarebeke, D. 1985. A new colorimetric assay for flavonoids in pilsner beers. *Journal of the Institute of Brewing* 91(1): 37-40.
- Esua, O.J.; China, N.L.; Yusof, Y.A.; Sukor, R. 2019. Effects of simultaneous UV-C radiation and ultrasonic energy postharvest treatment on bioactive compounds and antioxidant activity of tomatoes during storage. *Food Chemistry* 270: 113-122.
- Giusti, M.M.; Wrolstad, R.E. 2001. Anthocyanins. Characterization and measurement with UV-Visible spectroscopy. In R. E. Wrolstad (Ed.), *Current protocols in food analytical chemistry, Unit F 1.2* (pp. 1-13). New York: John Wiley & Sons.
- Korkmaz, S. 2018. Antioxidants in maca (*Lepidium meyenii*) as a supplement in nutrition. In E. Shalaby (Ed.), *Antioxidants in Foods and Its Applications* (pp.138-154). IntechOpen Limited.
- Lima, G.P.P.; Vianello, F.; Corrêa, C.R.; da Silva Campos, R.A.; Borguini, M.G. 2014. Polyphenols in fruits and vegetables and its effect on human health. *Food and Nutrition Sciences* 5(11): 1065-1082.
- Liu, H.K.; Kang, Y.F.; Zhao, X.Y.; Liu, Y.P.; Zhang, X.W.; Zhang, S.J. 2019. Effects of elicitation on bioactive

- compounds and biological activities of sprouts. *Journal of Functional Foods* 53: 136–145.
- Liu, W.; Zu, Y.G.; Fu, Y.J.; Kong, Y.; Ma, W.; Yang, M.; Li, J.; Wu, N. 2010. Variation in contents of phenolic compounds during growth and post-harvest storage of pigeon pea seedlings. *Food Chemistry* 121(3): 732-739.
- Lombardo, S.; Pandino, G.; Mauromicale, G. 2018. The influence of pre-harvest factors on the quality of globe artichoke. *Scientia Horticulturae* 233: 479-490.
- Martins, N.; Petropoulos, S.; Ferreira, I.C. 2016. Chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum* L.) as affected by pre- and post-harvest conditions: A review. *Food Chemistry* 211: 41-50.
- Nath, A.; Bagchi, B.; Misra, L.K.; Dekka, B.C. 2011. Changes in post-harvest phytochemical qualities of broccoli florets during ambient and refrigerated storage. *Food Chemistry* 127(4): 1510-1514.
- Odeh, I.; Al-Rimawi, F.; Abbadi, J.; Obayat, L.; Qabbajeh, M.; Hroub, A. 2014. Effect of Harvesting Date and Variety of Date Palm on Antioxidant Capacity, Phenolic and Flavonoid Content of Date Palm (*Phoenix Dactylifera*). *Journal of Food and Nutrition Research* 2(8): 499-505.
- Ordóñez-Santos, L.E.; Vázquez-Odériz, L.; Arbones-Maciñeira, E.; Romero-Rodríguez, A. 2009. The influence of storage time on micronutrients in bottled tomato pulp. *Food Chemistry* 112(1): 146-149.
- Patras, A.; Tiwari, B.K.; Brunton, N.P. 2011. Influence of blanching and low temperature preservation strategies on antioxidant activity and phytochemical content of carrots, green beans and broccoli. *LWT - Food Science and Technology* 4(1): 299-306.
- Pinela, J.; Barros, L.; Barreira, J.C.M.; Carvalho, A.M.; Oliveira, B.P.; Santos-Buelga, C.; Ferreira, I.C.F.R. 2018. Postharvest changes in the phenolic profile of watercress induced by post-packaging irradiation and modified atmosphere packaging. *Food Chemistry* 254: 70-77.
- Sandoval, M.; Okuhama, N.N.; Angeles, F.M.; Melchor, V.V.; Condezo, L.A.; Lao, J.; Miller, M.J.S. 2002. Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*). *Food Chemistry* 79(2): 207-213.
- Singleton, V.L.; Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdenic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3): 144-158.
- Tao, Y.; Han, M.; Gao, X.; Han, Y.; Show, P.L.; Liu, Ch.; Ye, X.; Xie, G. 2019. Applications of water blanching, surface contacting ultrasound-assisted air drying, and their combination for dehydration of white cabbage: Drying mechanism, bioactive profile, color and rehydration property. *Ultrasonics Sonochemistry (In Press)*.
- Tiwari, U.; Cummins, E. 2013. Factors influencing levels of phytochemicals in selected fruit and vegetables during pre- and post-harvest food processing operations. *Food Research International* 50(2): 497-506.
- Valea, A.P.; Santos, J.; Brito, N.V.; Marinho, C.; Amorim, V.; E.; Oliveira, B.P. 2015. Effect of refrigerated storage on the bioactive compounds and microbial quality of *Brassica oleraceae* sprouts. *Postharvest Biology and Technology* 109: 120-129.
- Wang, B.; Huang, Q.; Venkatasamy, C.; Chai, H.; Gao, H.; Cheng, N.; Cao, W.; Lv, X.; Pan, Z. 2016. Changes in phenolic compounds and their antioxidant capacities in jujube (*Ziziphus jujuba* Miller) during three edible maturity stages. *LWT - Food Science and Technology* 66: 56-62.
- Xue, Z.; Wang, C.; Zhai, L.; Yu, W.; Chang, H.; Kou, X.; *et al.* 2016. Bioactive compounds and antioxidant activity of mung bean (*Vigna radiata* L.), soybean (*Glycine max* L.) and black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during the germination process. *Czech Journal of Food Sciences* 34(1): 68-78.
- Zevallos-Concha, A.; Nuñez, D.; Gasco, M.; Vasquez, C.; Quispe, M.; Gonzales, G. F. 2016. Effect of gamma irradiation on phenol content, antioxidant activity and biological activity of black maca and red maca extracts (*Lepidium meyenii* Walp). *Toxicology Mechanisms and Methods* 26: 67-73.
- Zhang, H.; Tsao, R. 2016. Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science* 8: 33-42.
- Zhang, J.; Tian, Y.; Yan, L.; Zhang, G.; Wang, X.; Zeng, Y.; *et al.* 2016. Genome of plant maca (*Lepidium meyenii*) illuminates genomic basis for high-altitude adaptation in the central Andes. *Molecular Plant* 9: 1066-1077.
- Zheng, W.; Wang, S.Y. 2003. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries, cranberries, chokeberries, and lingonberries. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51(2): 502-509.