Cienc. Tecnol. Agropecuaria, *24*(3): e3177 ISSN: 0122-8706 ISSNe: 2500-5308
DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

Transformación y agroindustria

Artículo de investigación científica y tecnológica

Efecto del tratamiento térmico y de digestibilidad *in vitro* en compuestos bioactivos de cuatro tipos de papas nativas (*Solanum tuberosum* spp. *andigena*)

Effect of Thermal Treatment and *In Vitro* Digestion of Bioactive Compounds from Four Native Potatoes Types (*Solanum tuberosum* spp. *andigena*)

Ángel David Natividad Bardales [1] * Juan Edson Villanueva-Tiburcio [1]
Ruth Esther Chamorro Gómez [1] César Robert Cueto Rosales [1]
Pilar Rocío Capcha Godoy [1] José Luis Paucar Tito [1] Alejandro Mendoza Aguilar [2]

[1] Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú.
[2] Dirección Regional de Agricultura, Huánuco, Perú.

*Autor de correspondencia: Ángel David Natividad-Bardales. Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, avenida Esteban Pabletich #172, Pillco Marca, 10003, Huánuco, Perú. davidnatividad@unheval.edu.pe

Recibido: 24 de septiembre de 2022
Aprobado: 06 de septiembre de 2023
Publicado: 07 de diciembre de 2023

Editor temático: Germán Franco, (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]), Antioquía, Medellín, Colombia.

Para citar este artículo: Natividad Bardales, Á. D., Villanueva-Tiburcio, J. E., Chamorro Gómez, R. E., Cueto Rosales, C. R., Capcha Godoy, P. R., Paucar Tito, J. L., & Mendoza Aguilar, A. (2023). Efecto del tratamiento térmico y de digestibilidad *in vitro* en compuestos bioactivos de cuatro tipos de papas nativas (*Solanum tuberosum* spp. *andigena*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *24*(3), e3177. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

Resumen: En Perú se producen más de 3500 variedades de papas, sin embargo, es poca la información disponible sobre las propiedades antioxidantes que poseen. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de los tratamientos térmicos de hervido y de fritura, y la digestión *in vitro* en el contenido de polifenoles totales, antocianinas y actividad antioxidante en cuatro variedades de papas nativas. Las papas nativas clon de pulpa rojo (C_1), clon de pulpa azul (C_2), variedad Elena 1198 (V_4) y la variedad Kitipsho (V_8) fueron obtenidas del centro poblado de Huallmish a 3500 m s.n.m. para la evaluación de principios activos, las muestras sometidas a cocción y fritura fueron licuadas y se realizaron extracciones con metanol y también se realizó la digestión *in vitro*. Los resultados en las papas nativas mostraron diferencias en peso, longitud y diámetro, además, tampoco se encontró la presencia de vitamina C. Los tratamientos térmicos mediante hervido, fritura y luego del proceso de digestión *in vitro*, indujeron variaciones en el contenido de componentes bioactivos ($P < 0,05$), donde las cuatro variedades de papa mostraron un incremento en su capacidad para inhibir el catión ABTS, lo que estaría relacionado con el tipo de antioxidante y el potencial de hidrógeno del medio al cual fue sometido durante la digestión *in vitro*. En conclusión, las muestras de papas nativas luego de los tratamientos de hervido, fritura y digestión *in vitro* incrementaron la actividad antioxidante para secuestrar el catión ABTS.

Palabras clave: antocianinas, antioxidantes, compuestos fenoles, digestión, pepsina.

Abstract: In Peru, more than 3,500 varieties of potatoes are produced, however, little information is available on their antioxidant properties. The objective of the research was to evaluate the effect of thermal treatments of boiling and frying, and *in vitro* digestion on the content of total polyphenols, anthocyanins, and antioxidant activity in four varieties of native potatoes. The native potatoes Clone with red pulp (C1), Clone with blue pulp (C2), variety elena 1198 (V4) and the variety kitipsho (V8), were obtained from the town of Huallmish at 3,500 m s.n.m., for the evaluation of active principles, the samples subjected to cooking and frying were liquefied and extractions with methanol, also *in vitro* digestion was also carried out. The results in the native potatoes showed differences in weight, length, and diameter, but the presence of Vitamin C was not found. Thermal treatments by boiling, frying, and after the *in vitro* digestion process, caused variations in the content of bioactive components ($P<0.05$), the four potato varieties showed an increase in their ability to inhibition of the ABTS cation, which would be related to the type of antioxidant and hydrogen potential of the medium to which it was subjected during *in vitro* digestion. In conclusion, samples of native potatoes after boiling, frying and *in vitro* digestion treatments increased the antioxidant activity to sequester the ABTS cation.

Keywords: Anthocyanins, Digestion, Pepsin, Antioxidants, Phenolic compounds.

CC BY NC SA

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* spp. *andigena*) es un tubérculo que se cultiva en los Andes peruanos y que fue domesticado originalmente en América del Sur, distribuyéndose por los Andes desde Colombia hasta Chile (Kumari et al., 2018). Su domesticación data de entre 7000 y 10.000 años (Horton & Samanamud, 2013) y luego de un estudio filogenético, el origen de la papa se ubica en la parte sur de Perú (Spooner et al., 2005).Entre Bolivia, Perú y Ecuador se estima que crecen más de 4000 variedades, de las cuales más de 3000 se encuentran en Perú (Senasa, 2017). Además, la papa es ampliamente consumida y es una fuente de macronutrientes (carbohidratos, proteínas), micronutrientes (vitaminas, minerales) y compuestos bioactivos como polifenoles, antocianinas y propiedades antioxidantes (López-Cobo et al., 2014), incluso y principalmente en papas nativas harinosas se reportó una mayor cantidad de proteína y hierro (de Haan et al., 2019).

En Perú, se estima un consumo de papa de 81,3 kg per cápita para el 2030 (Scott & Kleinwechter, 2017), donde esta posee un rol importante en la nutrición de las personas, incluida la alimentación de los atletas (Kanter & Elkin, 2019), en la seguridad alimentaria (de Haan et al., 2019), el desarrollo económico del país (Wijesinha-Bettoni & Mouillé, 2019) y como suministro para la preparación de diversos platos alimenticios (Benson, 2019). La digestión *in vitro* es una valiosa herramienta que permite dilucidar la biodisponibilidad y la bioaccesibilidad de los nutrientes, así como estudiar la capacidad antioxidante de sus compuestos bioactivos (Zampedri et al., 2018).

La capacidad antioxidante en la papa está atribuida al contenido de polifenoles, antocianinas y vitaminas, donde estos antioxidantes juegan un papel muy importante en la inhibición de radicales libres y evitan posibles daños a las células (Chauhan et al., 2015). Además, los fitonutrientes y los componentes alimentarios bioactivos se convierten en un alimento funcional para mejorar la microbiota y la salud intestinal (Bibi et al., 2019), incluso poseen propiedades antiinflamatorias (Reddivari et al., 2019).

En papas cultivadas en Seúl, Corea del Sur, se reportaron altos contenidos de fenoles totales, antocianinas y propiedades antioxidantes (Lee et al., 2016). Además, el ácido L-ascórbico o vitamina C es el antioxidante más potente, por poseer en su estructura cuatro grupos OH, el cual puede donar hidrógeno a las especies reactivas como superóxidos, peróxidos, especies reactivas de nitrógeno y oxígeno singlete (Oroian & Escriche, 2015).

El tratamiento térmico por inmersión o proceso de cocción por inmersión en agua se realiza a temperatura promedio de 100 °C a 1 atmósfera, en este proceso la papa se encuentra inmersa en agua en la cual se hidrata y gelifica el almidón, donde algunas vitaminas se desnaturalizan por el tiempo de cocción. La fritura de los alimentos se realiza en aceite o grasa caliente a temperaturas entre los 175 °C y los 185 °C, donde el aceite actúa como transmisor de calor y produce un calentamiento uniforme en el alimento.

El proceso con microondas genera calor del interior del alimento al exterior a través de las vibraciones moleculares, en cambio, con el calentamiento convencional el calor se aplica desde el exterior hacia el interior, incrementando la temperatura en el alimento (Saguy & Dana, 2003). A pesar de los beneficios promovidos por los compuestos bioactivos como la reducción de la

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

oxidación de lípidos, la prevención de la aterosclerosis, la hipertensión arterial y el cáncer, es importante evaluar su estabilidad después del procesamiento, porque factores como la temperatura y el tiempo pueden afectar su actividad y concentración (Mileo & Miccadei, 2016). Existe poca información del contenido en principios activos de papas nativas producidas en la región de Huánuco, así como del efecto de procesos de cocción, fritura y digestión *in vitro*. Vale resaltar los procesos térmicos a los cuales están sometidos las papas como alimento, los cuales provocarían variaciones en el contenido de antioxidantes. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de los tratamientos térmicos de hervido y frito y digestión *in vitro* de compuestos bioactivos en cuatro variedades de papas nativas.

Materiales y métodos

Muestras. Las muestras de papas nativas fueron elegidas por su aptitud para fritura realizadas en investigaciones previas (Natividad Bardales et al., 2022): clon de pulpa rojo (C_1), clon de pulpa azul (C_2), variedad Elena 1198 (V_4) y variedad Kitipsho (V_8), las cuales fueron obtenidas del centro poblado de Huallmish a 3500 m s.n.m., en el distrito de Churubamba, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco, Perú.

Análisis fisicoquímicos. Estos se realizaron al tubérculo previo a la cocción: humedad, materia seca, ceniza, pH, sólidos solubles y acidez titulable se hicieron según recomendaciones de la AOAC (2023). Los análisis de masa, tamaño y color se realizaron según Tang et al. (2015) (se muestrearon y molieron las papas de color heterogéneo).

Análisis de compuestos bioactivos

Preparación de muestras. Se desarrolló según lo reportado por Hirose et al. (2010). De las diferentes variedades de papa, se pesó 1 g de muestra, el cual se trituró en un mortero y se colocó en tubos Falcon de 50 ml, posteriormente se adicionaron 10 ml de metanol (Spectrum®) y se almacenó a 4 °C por 16 horas. Luego se centrifugó (Eppendorf Mini Spin Plus) a 10.000 rpm por cinco minutos y el sobrenadante (estuvo libre de impurezas) se almacenó a -20 °C (refrigerador Ingenious RMS1540YPR), para el posterior análisis de polifenoles totales, antocianinas, DPPH y ABTS.

Contenido de polifenoles totales. Se empleó azul de Prussian, el cual se hizo reaccionar con 400 µl de solución A (0,5 mM $FeCl_3$.6 H_2O (CDH ®) en 0,01 N HCl (Sigma-Aldrich ®) en 400 µl de solución estándar de ácido gálico (Merck ®) en metanol (Spectrum®), de 1 a 20 ug/ml se dejó reaccionar por dos minutos y luego se adicionaron 400 µl de solución B (0,5 mM $K_3Fe(CN)_6$ en H_2O destilada). Posteriormente, se agitó y se mantuvo en oscuridad, luego de 15 minutos se registró la absorbancia a 725 nm. El contenido de polifenoles totales se reportó en mg de equivalentes de ácido gálico (EAG)/g (Margraf et al., 2015).

Antocianinas. Se determinó por el método de pH diferencial reportado por Rapisarda et al. (2000) y se hizo reaccionar con 400 µl de muestra y 4600 µL de buffer a pH 1(125 ml de 0,2 M

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

KCl y 375 ml de 0,2 M HCl) y buffer a pH 2 (400 ml de 1 M CH_3COONa, 240 ml de 1 M HCl y 360 ml H_2O). Luego de la reacción se registraron las absorbancias a 510 nm (especrofotómetro UV-vis Genesys 10S). La concentración de antocianinas se expresó en mg de cianidina-3-glucósido/100 g.

Vitamina C. Para cuantificar el ácido ascórbico, se pesaron 10 gramos de muestra de pulpa de papas frescas y se adicionaron 30 ml de ácido metafosfórico (4,5 % en agua ultrapura), la muestra se dejó reposar una hora en un matraz ámbar y luego se centrifugó a 7000 rpm (Eppendorf ®) y se filtró (filtro milipore 0,22 µm Merck ®). La muestra filtrada se puso en viales ámbar de 1,5 ml. Se utilizó HPLC (Kanauer) con columna C18 (promosil, EAGla Technologies USA, 250 × 4,6 mm diámetro interno y 5 µm tamaño de partícula), donde la fase móvil fue con ácido acético al 0,1 %, flujo 0,8 ml/min a una temperatura de 25 ºC, presión 67 bar y la detección se realizó a 254 nm, luego se preparó una curva estándar de ácido ascórbico a concentraciones de 200 a 1000 mg/ml (Pertuzatti et al., 2015).

Actividad antioxidante, método del 2,2-diphenil-1-picrilhidrazil (DPPH). Se realizó según las indicaciones de Hirose et al. (2010), donde se hicieron reaccionar 50 µl de muestra con 950 µl de solución DPPH (Sigma-Aldrich ®) en metanol (Spectrum®) a 100 µM, se dejó reaccionar en oscuridad por 30 minutos y luego se registró la absorbancia a 517 nm, donde la capacidad de secuestro del radical DPPH se expresó en µg equivalentes de trolox (ET)/g y se construyó una curva estándar con Trolox (2,5 a 20,0 mg /100 ml).

Actividad antioxidante, método ABTS (2, 2'-Azinobis-3-etil-benzo-tiazolina-6-ácido sulfónico). Para la solución stock, se mezclaron 7 mM de ABTS (Sigma-Aldrich ®) con 88 µl a 144 mM de persulfato de potasio (Sigma-Aldrich ®) en agua, se dejó en oscuridad por 16 horas antes de usar (protegiendo de la luz) y luego la solución de trabajo de ABTS+ se disolvió en etanol a 95° (~1:40). Posteriormente, se hicieron reaccionar 50 µl de extracto de las muestras con 950 µl de solución ABTS, se dejó reaccionar en oscuridad por 10 minutos, donde la absorbancia se registró a 734 nm los resultados en µg de ET/g. Asimismo se preparó una curva estándar con Trolox de 0 - 20 mg/100 ml (Fellegrini et al., 1999).

Proceso de cocción. Las muestras de papas nativas se sometieron a tratamientos de cocción: frito (cortadas en bastón) en aceite por 12 minutos a 190 ± 10 °C y hervido (papas enteras) por 37 minutos. Luego se sometió a digestión *in vitro* y se evaluaron los principios activos y la capacidad antioxidante.

Digestión *in vitro*. Se realizó según lo descrito por Faller et al. (2021)**,** se mezcló 1 g de muestra con solución salina (140 mM de NaCl, 5 mM de KCl y 150 µM de BHT), la cual se aforó a 4,5 ml, posteriormente la mezcla se agitó en vórtex y se acidificó con HCl 0,1 M hasta pH 2. A continuación se realizó la digestión gástrica con la adición de 125 µl de solución de pepsina (200 mg de pepsina (Himedia ®) en 5 ml de HCL 0,1 M), donde la mezcla se sometió a agitación a 37 °C por una hora. Luego la solución se ajustó a pH 6,9 con adición de bicarbonato ($NaHCO_3$ 0,1 M) y para la digestión intestinal se adicionaron 625 µl de solución biliar de pancreatina (225 mg de extracto biliar (Himedia ®) y 37 mg de pancreatina (Himedia ®) en 18,7 ml de $NaHCO_3$ 0,1 M) y se incubó en agitación a 37 °C por dos horas. Finalmente, el extracto restante se

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

centrifugó (Eppendorf Mini Spin Plus) a 10.000 rpm por cinco minutos y el sobrenadante se empleó para los posteriores análisis de los bioactivos.

Análisis estadístico. Los resultados se reportaron como media ± desviación estándar (n = 6). Se hizo un Anova multifactorial ($p < 0,05$) para evaluar el efecto de la digestión *in vitro*, variedades y método de cocción sobre los compuestos bioactivos. Asimismo se aplicó una prueba de comparación múltiple Tukey ($p < 0,05$). En este proceso se utilizó el programa Statistical Package for the Social Scienses (SPSS), versión 20 (Hernández-Medina et al., 2008).

Resultados y discusión

Análisis fisicoquímicos. Los resultados de las muestras de papa nativa (figuras 1) mostraron diferencia en la distribución de colores en la pulpa, así como en la intensidad del color.

Figuras 1. Muestras de papas nativas evaluadas en la investigación: clon 01 de pulpa rojo (C_1), clon 02 de pulpa azul (C_2), variedad Elena 1198 (V_4) y variedad Kitipsho (V_8).
Fuente: Elaboración propia

Los análisis de peso, longitud, ancho y color (tabla 1) mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) con respecto a la muestra V_8 que mostró mayor peso y ancho con 99,46 ± 1,94 g/unidad de papa, mientras que las muestras C_1 y C_2 no mostraron diferencia de ancho de papa ($P > 0,05$). Al respecto, Muhammad et al. (2018) mencionan que las dimensiones en las papas dependen de la variedad, la fecha de siembra, etc.

Por su parte, los pesos de las papas nativas evaluadas se encuentran entre 61,99 ± 1,90 y 99,46 ± 1,94 g/unidad; además, Jiménez et al. (2009) reportó pesos de papas nativas cultivadas en Tucumán, Argentina, desde 11,44 ± 2,83 g/unidad, en variedad Imilla Colorada y 147,48 ± 66,56

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

g/unidad en variedad Señorita, sin embargo, Galdón et al. (2012) reportaron pesos promedios de 17,3 ± 6 a 39,4 ± 6,0 g/unidad en *Solanum tuberosum* ssp.

Tabla 1. Medición de pesos, longitud y color de pulpa de papas nativas crudas

Muestra	Peso (g/unidad)	**Longitud (mm)	
		Largo	Ancho
C_1	61,99 ± 1,90 [d]	51,02 ± 1,86 [c]	51,47 ± 1,28 [b]
C_2	69,91 ± 1,64 [c]	44,25 ± 1,31 [d]	53,14 ± 1,56 [b]
V_4	91,21 ± 1,78 [b]	84,61 ± 1,68 [a]	47,13 ± 1,65 [c]
V_8	99,46 ± 1,94 [a]	62,97 ± 1,87 [b]	60,24 ± 1,09 [a]
		***Color	
	L*	**a***	**b***
C_1	51,65 ± 0,09 [b]	15,21 ± 0,65 [b]	8,53 ± 0,37 [c]
C_2	30,61 ± 0,46 [d]	11,04 ± 0,28 [c]	-1,79 ± 0,03 [d]
V_4	70,89 ± 0,84 [a]	1,97 ± 0,01 [d]	15,10 ± 0,37 [a]
V_8	42,80 ± 0,57 [c]	22,41 ± 0,64 [a]	11,44 ± 0,60 [b]

Notas aclaratorias: los resultados expresados son como promedio ± desviación estándar, **n = 10 y ***n = 3 (pulpas muestreadas y molidas); las medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$); C_1 = clon de pulpa roja, C_2 = clon de pulpa azul, V_4 = variedad Elena 1198, V_8 = variedad Kitipsho, L*a*b*, donde L* indica la luminosidad y a* y b* son las coordenadas cromáticas rojo/verde y amarillo/azul, respectivamente.
Fuente: Elaboración propia

Los colores de la pulpa (tabla 1) reportaron rangos de valores de L* de 30,61 ± 0,46 a 70,89 ± 0,84; a* de 1,97 ± 0,01 a 22,41 ± 0,64 y b* de -1,79 ± 0,03 a 15,10 ± 0,37 ($p < 0,05$); al respecto, Zhou et al. (2019) evaluaron seis cultivares de *Solanum tuberosum* y reportaron valores de L* de 64,15 ± 0,87 a 71,98 ± 0,49, encontrándose V_4 dentro de este rango con 70,89 ± 0,84; mientras que a* comprendió de -3,07 ± 0,03 a -1,72 ± 0,10 y b* de 20,14 ± 0,60 a 23,10 ± 0,19; por otra parte, Lee et al. (2016) reportaron resultados realizados en Corea del Sur en papas coloradas, donde L* mostró variación de 61,0 ± 0,2 a 82,7 ± 0,2 y a* de -0,5 ± 0,0 a 8,9 ± 0,3, mientras que b* fluctuó de -3,2 ± 0,1 a 75,5 ± 0,1. La conservación de los colores debido al contenido de fitonutrientes es una característica importante en el valor comercial de las papas (Navarre et al., 2019).

En los resultados de los análisis fisicoquímicos (tabla 2) se mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) y con respecto a sólidos solubles se encontraron valores desde 5,00 ± 0,10 hasta 6,13 ± 0,06 g de sacarosa/100 g de extracto líquido, al respecto, Duarte-Delgado et al. (2015) validaron un método para la cuantificación de sacarosa en *Solanum tuberosum* empleando cromatografía líquida, en el cual reportaron un mínimo de 0,93 y un máximo de 3,11g de sacarosa/100 g de tubérculo. La humedad varió de 72,04 ± 0,43 a 79,49 ± 0,48 g H_2O/100 g, donde la materia seca se encontró en el rango de 20,51 ± 0,48 a 27,96 ± 0,43 g/100 g; por su parte, Kolbe & Stephan-Beckmann (1997) reportaron de 19,0 % a 22,9 % de materia seca, mientras que Zhou et al. (2019) reportaron valores de humedad superiores desde 76,96 ± 0,27 a 85,79 ± 0,27 g H_2O/100 g.

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

Tabla 2. Análisis fisicoquímico de cuatro muestras de papas nativas crudas

Muestra	Sólidos solubles [1]	Humedad [2]	Materia seca [3]	Ceniza [4]	pH	Acidez titulable [5]
C_1	6,13 ± 0,06 [a]	79,49 ± 0,48 [a]	20,51 ± 0,48 [c]	5,52 ± 0,10 [a]	6,30 ± 0,00 [c]	0,17 ± 0,01 [a]
C_2	5,83 ± 0,21 [a]	72,04 ± 0,43 [c]	27,96 ± 0,43 [a]	4,03 ± 0,13 [a]	6,87 ± 0,06 [a]	0,11 ± 0,01 [c]
V_4	5,00 ± 0,10 [b]	76,14 ± 0,13 [b]	23,86 ± 0,13 [b]	4,74 ± 0,21 [a]	6,60 ± 0,00 [b]	0,09 ± 0,01 [d]
V_8	5,83 ± 0,23 [a]	77,31 ± 0,73 [b]	22,69 ± 0,73 [b]	4,50 ± 0,00 [a]	6,57 ± 0,06 [b]	0,13 ± 0,00 [b]

Notas aclaratorias: resultados expresados como promedio ± desviación estándar; medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$), C_1 = clon de pulpa roja, C_2 = clon de pulpa azul, V_4 = variedad Elena 1198, V_8 = variedad Kitipsho, [(1)]: g de sacarosa/100g de extracto líquido, [(2)]: g H_2O/100g, [(3)]: g/100g, [(4)]: g/100g base seca y [(5)] g de ácido ascórbico/g de muestra.
Fuente: Elaboración propia

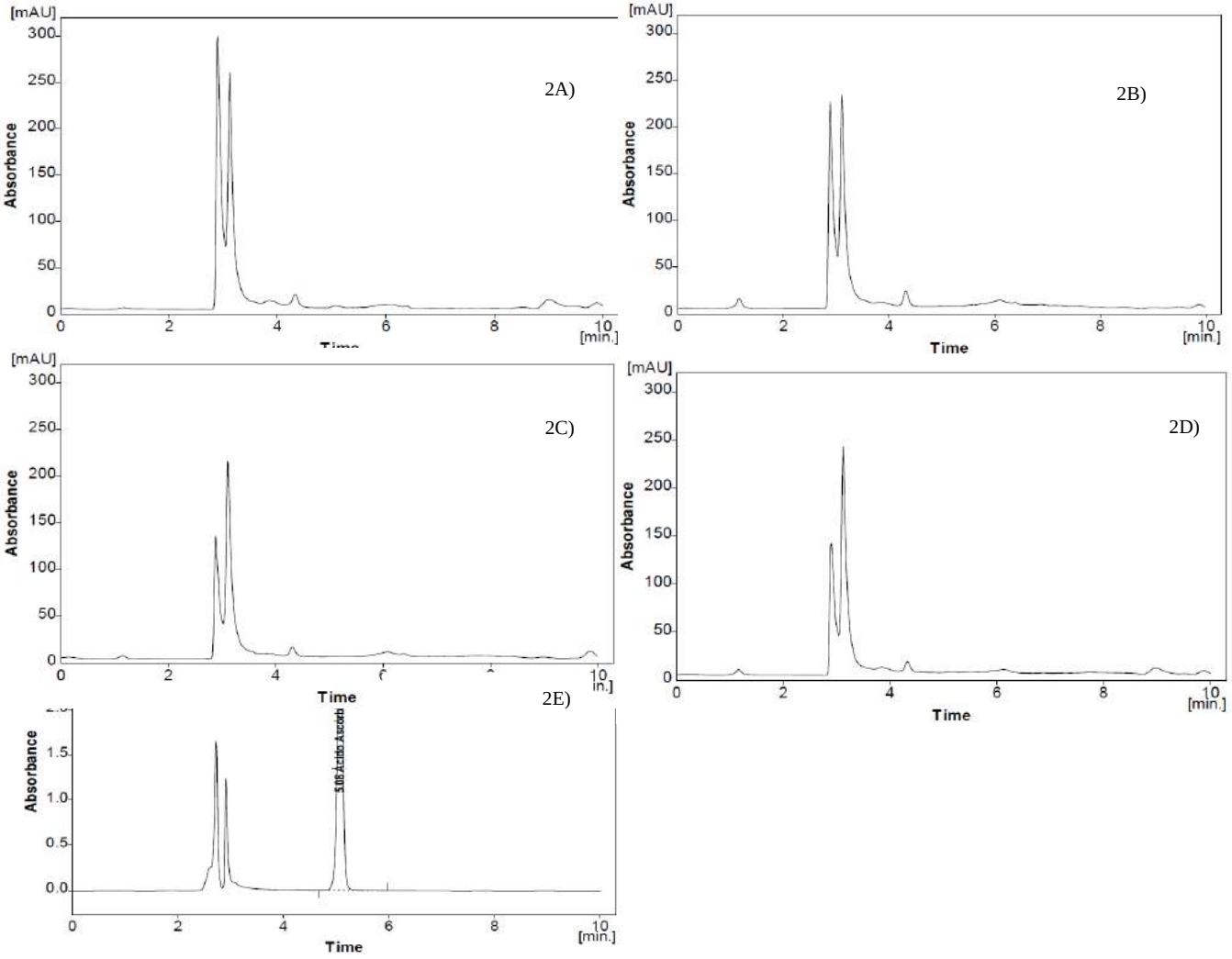
De manera similar, Galdón et al. (2012) obtuvieron valores de humedad desde 70,8 ± 0,7 hasta 78,4 ± 0,3 g H_2O /100 g, donde las cenizas presentes estuvieron en un rango de 4,03 ± 0,13 a 5,52 ± 0,10 g/100 g de base seca, al respecto Zhou et al. (2019) reportaron de 4,52 ± 0,04 hasta 5,83 ± 0,05 g/100 g en catorce cultivares de *Solanum tuberosum* producidos en China. Por su parte, Narváez-Cuenca et al. (2018) mencionaron valores ligeramente superiores, desde 3,2 hasta 6,9 g/100 g, donde los valores de pH se encontraron desde 6,30 ± 0,00 hasta 6,87 ± 0,06 ($p < 0,05$) y en acidez titulable (g de ácido ascórbico/g de muestra) de 0,09 ± 0,01 a 0,17 ± 0,01; resultados similares mostraron Kolbe & Stephan-Beckmann (1997) con 102-158 mg de ácido ascórbico/100 g de muestra seca y valores de pH desde 5,7 ± 0,2 hasta 6,3 ± 0,1 y Galdón et al. (2012) reportaron valores de ácido ascórbico desde 10,4 ± 1,7 hasta 31,1 ± 1,1 mg/100 g, pH desde 5,7 ± 0,2 en el cultivar Torrenta y 6,3 ± 0,1 en el cultivar Bonita Negra.

Vitamina C

La vitamina C cumple un rol importante como antioxidante y en los procesos metabólicos del ser humano (Sheraz et al., 2015). Luego del análisis en las papas nativas crudas (figuras 2), no se detectó la presencia de vitamina C, sin embargo, García-Torres et al. (2022) encontraron en papa y hojuela de papa 26,8 y 16,5 mg/100 g de vitamina C (suma de ácido ascórbico y dehidroascórbico) en base seca, en su metodología detallan que fue determinado después de la reducción del ácido dehidroascórbico a ácido ascórbico usando DL-Ditiotreitol. Asimismo, Talley et al. (1984) evaluaron diferentes variedades de papa, entre ellas Centennial Russet, Katahdin, Kennebec, Norchip, Norgoid, Pontiac, Superior, Russet Burbank y White Rose, obtenidas de lugares como California, Maine, North Dakota, Washington e Idaho, donde los resultados reportaron que las variedades Kennebec, Norchip y Superior cultivadas en North Dakota no contenían ácido ascórbico, sin embargo, cuando fueron cultivadas en otras zonas se detectó la presencia de vitamina C.

Se sabe que las plantas tienen ritmos circadianos que responden a cambios ambientales, la fotosíntesis es típicamente rítmica y resulta en una serie de procesos fisiológicos periódicos, como la síntesis de ácido ascórbico (Wang et al., 2013), así como la activación de genes (Ren et

al., 2013). Además, la ausencia total del ácido ascórbico estaría relacionada a procesos de oxidación inducidos por los iones de metales libres (reacciones redox) o por la presencia de enzimas como ascorbato oxidasa o ascorbato peroxidasa (Liang et al., 2017; Smirnoff, 2018; Villanueva-Tiburcio et al., 2010; Vinci et al., 1995). Además, Hernández et al. (2006) recomiendan que para garantizar que el análisis por cromatografía líquida sea efectivo, es importante optimizar la extracción del ácido ascórbico en muestras complejas; además, es esencial inactivar las enzimas degradantes que pueden destruir el ácido ascórbico durante la extracción.



Figuras 2. Cromatogramas de análisis de vitamina C en pulpa fresca: 2A) clon de pulpa roja, 2B) clon de pulpa azul, 2C) variedad Elena 1198, 2D) variedad Kitipsho y 2E) cromatograma de la curva estándar de la vitamina C
Fuente: Elaboración propia

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

Efecto de la digestión *in vitro* en antioxidantes en papa fresca (previo al tratamiento térmico)

Los resultados del efecto de la digestión en compuestos bioactivos se muestran en la tabla 3. Con respecto al contenido de polifenoles sin digestión, se destaca que la muestra V_4 tuvo una mayor cantidad de polifenoles con 120,88 ± 0,85mg EAG/g base seca y C_2 el de menor cantidad con 96,87 ± 0,67 mg EAG/g base seca ($p < 0,05$), luego de la digestión *in vitro*, se aprecia un ligero descenso de los polifenoles C_1, V_4 y V_8 (82,94 ± 0,32; 23,68 ± 0,67 y 90,55 ± 0,37, respectivamente) y ausencia en C_2. La disminución de fenoles totales en la digestión *in vitro* puede ser consecuencia de la inestabilidad de estos compuestos cuando se exponen a altos valores de pH (Ji et al., 2012); además, los resultados en el presente experimento se encuentran por debajo del rango mencionado por Lee et al. (2016), quienes reportaron de 423,92 a 385,84 mg EAG/100g en muestras de papas nativas variedades: Superior, Hongyoung, Jayoung, Jasim, Jaseo y Seohong. Por su parte, Zhou et al. (2019) reportaron variaciones entre 113,11 y 189,30 mg EAG/100g de muestra seca en el cultivares de papas Neida 35 y Neida 22.

Tabla 3. Compuestos bioactivos en papas nativas crudas sin y con digestión *in vitro*

Análisis	Variedad	Digestión *in vitro*	
		Sin digestión	Con digestión
Polifenoles (mg EAG/g b. s.)	C_1	$111,45 \pm 0,37^{Ab}$	$82,94 \pm 0,32^{Bb}$
	C_2	$96,87 \pm 0,67^{c}$	No detectado
	V_4	$120,88 \pm 0,85^{Aa}$	$23,68 \pm 0,67^{Bc}$
	V_8	$111,66 \pm 0,81^{Ab}$	$90,55 \pm 0,37^{Ba}$
Antocianinas (mg de cianidina 3 glucósido/ 100 g b. s.)	C_1	$1,22 \pm 0,03^{Bb}$	$12,19 \pm 0,34^{Aa}$
	C_2	No detectado	No detectado
	V_4	No detectado	No detectado
	V_8	$2,72 \pm 0,06^{Aa}$	$1,75 \pm 0,05^{Bb}$
DPPH (µmol ET/g b. s.)	C_1	$153,88 \pm 2,72^{a}$	No detectado
	C_2	$79,30 \pm 2,72^{d}$	No detectado
	V_4	$105,99 \pm 2,36^{c}$	No detectado
	V_8	$142,89 \pm 2,72^{b}$	No detectado
ABTS (µmol ET/g b. s.)	C_1	$453,54 \pm 2,83^{Ba}$	$998,72 \pm 1,64^{Aa}$
	C_2	$166,35 \pm 1,04^{Bc}$	$767,99 \pm 1,20^{Ab}$
	V_4	$133,60 \pm 1,86^{Bd}$	$607,48 \pm 1,41^{Ad}$
	V_8	$238,32 \pm 2,56^{Bb}$	$624,43 \pm 1,48^{Ac}$

Notas aclaratorias: los valores se dan como media ± desviación estándar (n = 3), EAG: equivalente ácido gálico, g b. s.: gramos en base seca; diferentes letras mayúsculas en superíndice indican diferencias significativas entre muestras sin y con digestión *in vitro* ($p \leq 0,05$) y se leen en vertical y, por último, diferentes letras minúsculas en superíndice indican diferencias significativas respecto a las variedades de papa por compuesto activo analizado ($p \leq 0,05$) y se leen en horizontal.
Fuente: Elaboración propia

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

Con respecto al contenido de antocianinas, en papas C_1 y V_8 sin digestión, se obtuvieron 1,22 ± 0,03 y 2,72 ± 0,06, mientras que en C_2 y V_4 no se detectaron (ND), luego de la digestión se encontró que el clon C_1 y V_8 tuvieron 12,19 ± 0,34 y 1,75 ± 0,05 mg de cianidina-3-glucósido/100 g, incrementándose en 999 % y disminuyendo en 64 %, al respeto, el incremento de antocianinas en la muestra C_1 estaría relacionado con el proceso de liberación de antocianinas por efecto de la digestión y la acción de enzimas y pH, otra característica importante sería la reactividad intrínseca tal como lo manifiesta Koh et al. (2020), ya que la presencia de grupos hidroxilos en el anillo B disminuye la estabilidad en medios neutrales; mientras que los grupos metoxi, en el anillo B, incrementan la reactividad de las antocianinas (Liu et al., 2014). Soriano Sancho et al. (2015) mencionan que el contenido de antocianinas se relaciona con el color, los cuales fueron rojos oscuros con mayores valores de a* de 15,2 ± 0,65 y 22,41 ± 0,64 para C_1 y V_8, mientras que para C_2 y V_4 probablemente estaría relacionado con la presencia de tocoferoles, debido a que se reportaron su presencia en variedades de papa (Chitchumroonchokchai et al., 2017; Tatarowska et al., 2019).

Por su parte, Lee et al. (2016) reportaron de 89,05 a 83,90 mg cianidina 3 glucósido/100 g b. s., donde los resultados obtenidos en la presente investigación son menores y sostienen que la cantidad de antocianinas depende de la variedad, el tiempo de cosecha y la región de cultivo; además, la intensidad de la luz, la temperatura y la radiación solar juegan un papel importante en la biosíntesis de las antocianinas en papas; al respecto, las muestras de papas utilizadas en este estudio fueron cosechadas en septiembre del 2019 en la región de Huánuco, Perú. El 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) y 2, 2'-Azinobis-3-etil-benzo-tiazolina-6-ácido sulfónico (ABTS) permiten evaluar las propiedades antioxidantes en frutas y vegetales (Becker et al., 2019). Así, las muestras con digestión *in vitro* ofrecieron una mayor capacidad antioxidante frente al ABTS, en DPPH sin digestión las muestras C_1 y V_8 con 153,88 ± 2,72 y 142,89 ± 2,72 µmol ET/g base seca ($p > 0,05$), las cuales tuvieron mayores valores, mientras que frente al ABTS sin digestión fue la muestra C_1, seguida por V_8, C_2 y V_4 la que tenía 453,54± 2,83; 238,32 ± 2,56; 166,35 ± 1,04 y 133,60 ± 1,86 µmol ET/g base seca ($p < 0,05$).

Lo curioso es que no se detectó capacidad antioxidante luego de la digestión según el método de radical DPPH, esto se podría atribuir a las interferencias con los reactivos de la determinación de DPPH con los empleados en la digestión (Abramovič et al., 2018). Por el método de ABTS se encontraron interesantes contenidos de capacidad antioxidante desde 607,48 ± 1,41 hasta 998,72 ± 1,64 µmol ET/g b. s., correspondientes a las muestras V_4 y C_1. Por su parte, Floegel et al. (2011) mencionaron que en experimentos de evaluación de mayor capacidad antioxidante entre ABTS y DPPH, donde el ABTS fue superior a DPPH en diversos alimentos que poseían compuestos hidrofílicos, lipofílicos y pigmentos, y donde la mayor actividad antioxidante estaría relacionada con la capacidad del radical libre de reaccionar con los hidrógenos de los polifenoles (Abramovič et al., 2018). Resultados reportados por Lee et al. (2016) mostraron que la mayor capacidad antioxidante en papas coloreadas frente al ABTS fue la variedad Hongyoung, con 121,39 mg AAE/100 g en muestra seca, seguida por la variedad Jayoung con IC_{50} de 2,76 mg/ml frente al DPPH. Asimismo, Ru et al. (2019) obtuvieron resultados similares, donde los polifenoles de fracciones libres tuvieron una mayor capacidad para inhibir el ABTS con rangos de 21,23 a 309,48 µM ET/100 g.

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

Efecto de los tratamientos térmicos y digestión *in vitro* en contenido de compuestos bioactivos

Métodos de cocción. Existen diferencias significativas entre tratamientos (frito por 12 minutos de 180 °C a 200 °C y hervido por 37 minutos, alrededor de 95 °C) y de antes y después de la digestión ($P < 0,05$). Los tratamientos de cocción mediante hervido y fritura indujeron variaciones en el contenido de principios activos (tabla 4), donde el proceso de fritura de las papas ocasionó la degradación de los componentes polifenólicos en comparación con el proceso de cocción por ebullición (Kita et al., 2013).

Compuestos bioactivos. A pesar de los beneficios promovidos por los compuestos fenólicos, como la reducción de la oxidación de lípidos, la prevención de aterosclerosis, hipertensión arterial y cáncer, es importante evaluar su estabilidad después del procesamiento, porque factores como la temperatura y el tiempo en almacenamiento podrían afectar sus propiedades antioxidantes (Huang et al., 2013; Mileo & Miccadei, 2016), así como la formación de compuestos secundarios por la reacción de Maillard (Jansky, 2010). Con respecto al contenido de polifenoles, antocianinas y capacidad antioxidante, existen diferencias significativas ($P < 0,05$) (tabla 4).

Antocianinas. Luego de la cocción por fritura y el hervido antes de la digestión, el contenido de antocianinas se incrementó en C_2 a 25,95 y 32,86, mg de cianidina 3 glucósido/100 g b. s. y V_4 a 29,03 y 3,51 mg de cianidina 3 glucósido/100 g b. s. (mientras que en papas frescas no se detectaron al ser evaluadas con y sin digestión *in vitro*) (tabla 3). Al respecto, Bellumori et al. (2017), Burgos et al. (2013) y Tierno et al. (2015) reportaron que las antocianinas en papas nativas se incrementaron después del proceso de cocción por ebullición. Estos resultados de las antocianinas son similares a los reportados por Lemos et al. (2015) con 4,59 mg cianidina 3-glucósido/100 g, donde luego de la digestión *in vitro* el C_1 y el V_8 tuvieron diferencias estadísticas de las otras muestras en antocianinas, respecto a los métodos de cocción.

Polifenoles. Con respecto al contenido de polifenoles, solo en el tratamiento con cocción por hervido, las muestras C_1, V_4 y V_8 incrementaron su contenido, siendo estos valores más altos que la muestras antes de la digestión *in vitro* (Ji et al., 2012; Soriano Sancho et al., 2015). Los polifenoles se vieron reducidos después de la digestión *in vitro*, al respecto, Granito et al. (2007) mencionaron que un proceso como la cocción puede promover la degradación entre los anillos aromáticos de los compuestos fenoles, lo que lleva a reacciones de polimerización o roturas estructurales, lo cual se refleja en un menor contenido fenólico en las muestras cocidas.

Capacidad antioxidante mediante DPPH. En la capacidad antioxidante por DPPH antes de la digestión *in vitro*, las papas nativas sometidas a fritura incrementaron su actividad antioxidante luego de la digestión *in vitro* a excepción de V_4, la cual redujo su actividad antioxidante; mientras que para las muestras sometidas a cocción por hervido, C_2, V_4 y V_8 disminuyeron su capacidad antioxidante frente al radical DPPH; estos resultados quizás estén relacionados con el efecto de liberación de los antioxidantes de la pulpa de la papa y la consiguiente degradación por el efecto de la digestión *in vitro*. Al respecto, Lemos et al. (2015) reportaron que las papas nativas cocidas presentaron una mayor capacidad antioxidante.

Tabla 4. Contenido de compuestos bioactivos de papas nativas (molidas) sometidas a digestión *in vitro*, antes y después de tratamiento térmico de hervido y fritura

Análisis	Digestión *in vitro*	Muestra	Tratamiento térmico	
			Frito (12 min)	Hervido (37 min)
Antocianinas (mg de cianidina 3 glucósido/100 g b. s.)	Antes	C_1	$34,32 \pm 0,34^{Ba}$	$51,05 \pm 0,61^{Aa}$
		C_2	$25,95 \pm 0,42^{Bc}$	$32,86 \pm 0,21^{Ab}$
		V_4	$29,03 \pm 0,28^{Ab}$	$3,51 \pm 0,10^{Bc}$
		V_8	$29,23 \pm 0,44^{Ab}$	$33,60 \pm 0,52^{Ab}$
	Después	C_1	$16,93 \pm 0,11^{Ba}$	$68,00 \pm 0,35^{Aa}$
		C_2	$4,76 \pm 0,00^{Bc}$	$18,33 \pm 0,13^{Ad}$
		V_4	$0 \pm 0,00^{Bd}$	$26,81 \pm 0,23^{Ac}$
		V_8	$7,27 \pm 0,34^{Bb}$	$58,50 \pm 0,23^{Ab}$
Polifenoles (mg EAG/g b. s.)	Antes	C_1	$6,51 \pm 0,08^{Bb}$	$12,04 \pm 0,03^{Aa}$
		C_2	$4,41 \pm 0,03^{Ac}$	$3,60 \pm 0,06^{Ac}$
		V_4	$2,17 \pm 0,09^{Ad}$	$2,00 \pm 0,04^{Bd}$
		V_8	$8,78 \pm 0,05^{Aa}$	$8,71 \pm 0,05^{Ab}$
	Después	C_1	$11,25 \pm 0,06^{Ab}$	$13,22 \pm 0,03^{Ab}$
		C_2	$5,59 \pm 0,05^{Bc}$	$2,88 \pm 0,03^{Bc}$
		V_4	$0,71 \pm 0,02^{Ad}$	$0,87 \pm 0,00^{Ad}$
		V_8	$11,78 \pm 0,02^{Ba}$	$13,70 \pm 0,08^{Aa}$
DPPH (µmol TE/g b. s.)	Antes	C_1	$67,82 \pm 1,69^{Ba}$	$129,32 \pm 1,47^{Ab}$
		C_2	$53,75 \pm 1,97^{Bb}$	$221,27 \pm 1,63^{Aa}$
		V_4	$69,17 \pm 1,76^{Ba}$	$117,03 \pm 0,96^{Ac}$
		V_8	$57,62 \pm 1,02^{Bb}$	$114,98 \pm 1,31^{Ac}$
	Después	C_1	$224,28 \pm 0,47^{Ab}$	$164,10 \pm 0,85^{Ba}$
		C_2	$52,00 \pm 0,43^{Ad}$	$1,41 \pm 0,00^{Bd}$
		V_4	$63,74 \pm 0,59^{Ac}$	$20,85 \pm 0,84^{Bc}$
		V_8	$271,94 \pm 0,51^{Aa}$	$43,99 \pm 0,73^{Bb}$
ABTS (µmol TE/g b. s.)	Antes	C_1	$23,09 \pm 0,56^{Bb}$	$224,57 \pm 1,77^{Ad}$
		C_2	$1,80 \pm 0,00^{Bc}$	$234,57 \pm 1,70^{Ac}$
		V_4	$22,85 \pm 0,71^{Bb}$	$386,49 \pm 2,00^{Aa}$
		V_8	$157,09 \pm 1,06^{Ba}$	$303,47 \pm 1,57^{Ab}$
	Después	C_1	$375,28 \pm 1,13^{Bb}$	$488,14 \pm 1,77^{Ad}$
		C_2	$203,63 \pm 0,52^{Bc}$	$1218,17 \pm 2,00^{Ab}$
		V_4	$374,60 \pm 1,22^{Ab}$	$1425,80 \pm 2,00^{Aa}$
		V_8	$485,07 \pm 1,06^{Ba}$	$705,49 \pm 0,91^{Ac}$

Notas aclaratorias: los valores se dan como media ± desviación estándar (n = 3), donde EAG: equivalente ácido gálico, g b. s.: gramos en base seca; además, diferentes letras mayúsculas en superíndice dentro de una fila indican diferencias significativas entre métodos de cocción ($p \leq 0,05$) y se leen en vertical y diferentes letras minúsculas en superíndice dentro de una columna indican diferencias significativas entre las variedades de papa para un método de cocción específico ($p \leq 0,05$) y se leen en horizontal.
Fuente: Elaboración propia

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

Capacidad antioxidante mediante ABTS. La fritura ejerció un efecto positivo en las muestras de papas para secuestrar el catión ABTS, ya que en todas las muestras se incrementó su actividad antioxidante, este comportamiento estaría relacionado con la sensibilidad del catión ABTS a ser inhibido por los antioxidantes en las muestras de papas nativas. En un estudio de actividad antioxidante, se encontró que los polifenoles no antocianos mostraron una mayor estabilidad en el pH intestinal, por lo que sugieren que la actividad antirradical puede depender del pH (Tagliazucchi et al., 2010). Además, los análisis realizados en la investigación fueron limitados en cuanto a la población de las zonas de cultivo de papas nativas, sin embargo, ofrecen un panorama básico para seguir desarrollando investigación considerando diversas zonas de producción, así como la inclusión de otras variedades de papas nativas.

Conclusiones

La concentración de compuestos bioactivos como antocianinas, polifenoles totales y capacidad antioxidante en las cuatro variedades de papas nativas frescas y luego de la digestión *in vitro,* cultivadas en la región Huánuco, fueron afectadas por los procesos de cocción (hervido y fritura), donde el hervido incrementó la capacidad antioxidante de las papas nativas, especialmente en C_2 y V_4, probablemente por la liberación de principios activos presentes en las pulpas, mientras que la fritura generalmente afectó a los antioxidantes, este fenómeno estaría relacionado con la temperatura, ya que el proceso de fritura ocurre a temperaturas superiores a los 170 °C. Estos resultados ofrecen un panorama básico sobre el comportamiento de principios activos sometidos a diferentes procesos de cocción.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (Huánuco, Perú) por el apoyo en el financiamiento para el desarrollo de la investigación a través de los Fondos Concursables 2019.

Contribución de los autores

Ángel David Natividad Bardales: responsable del estudio y asesor de los tesistas; Juan Edson Villanueva-Tiburcio: revisor del borrador del manuscrito; Ruth Esther Chamorro Gómez: redacción, análisis e interpretación de los resultados de los bioactivos; César Robert Cueto Rosales: metodología y resultados de la vitamina C; Pilar Rocío Capcha Godoy: análisis en el laboratorio bajo las indicaciones de los docentes; José Luis Paucar Tito: análisis en el laboratorio bajo las indicaciones de los docentes; Alejandro Mendoza Aguilar: trabajo en el campo para la producción de la papas.

Implicaciones éticas

El presente artículo cuenta con el aval de la Resolución Nº0124-2019-UNHEVAL-VRI del 26 de marzo del 2019 de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán. También se obtuvo el consentimiento de los colaboradores para usar la información suministrada en la documentación del proceso presentado en el artículo.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

La presente investigación fue financiada a través de los fondos de la Dirección de Investigación Universitaria (DIU) de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco- Perú.

Referencias

Abramovič, H., Grobin, B., Poklar Ulrih, N., & Cigić, B. (2018). Relevance and Standardization of In Vitro Antioxidant Assays: ABTS, DPPH, and Folin–Ciocalteu [Research Article]. *Journal of Chemistry*, 2018, 4608405. https://doi.org/10.1155/2018/4608405

AOAC. (2023). *Scientific Standards & Methods*. https://www.aoac.org/scientific-solutions/

Becker, M. M., Nunes, G. S., Ribeiro, D. B., Silva, F. E., Catanante, G., & Marty, J. L. (2019). Determination of the Antioxidant Capacity of Red Fruits by Miniaturized Spectrophotometry Assays. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, *30*(5), 1108-1114. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20190003

Bellumori, M., Innocenti, M., Michelozzi, M., Cerretani, L., & Mulinacci, N. (2017). Coloured-fleshed potatoes after boiling: Promising sources of known antioxidant compounds. *Journal of Food Composition and Analysis*, *59*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.004

Benson, L. (2019). A Chef's Perspective on Potatoes and Diet. *American Journal of Potato Research*, *96*(2), 98-99. https://doi.org/10.1007/s12230-019-09718-7

Bibi, S., Navarre, D. A., Sun, X., Du, M., Rasco, B., & Zhu, M. J. (2019). Beneficial Effect of Potato Consumption on Gut Microbiota and Intestinal Epithelial Health. *American Journal of Potato Research*, *96*(2), 170-176. https://doi.org/10.1007/s12230-018-09706-3

Burgos, G., Amoros, W., Muñoa, L., Sosa, P., Cayhualla, E., Sanchez, C., Díaz, C., & Bonierbale, M. (2013). Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling. *Journal of Food Composition and Analysis*, *30*(1), 6-12. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.12.001

Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(2), 939-945. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.115

Chitchumroonchokchai, C., Diretto, G., Parisi, B., Giuliano, G., & Failla, M. L. (2017). Potential of golden potatoes to improve vitamin A and vitamin E status in developing countries. *PLoS ONE*, *12*(11). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187102

de Haan, S., Burgos, G., Liria, R., Rodriguez, F., Creed-Kanashiro, H. M., & Bonierbale, M. (2019). The Nutritional Contribution of Potato Varietal Diversity in Andean Food Systems: A Case Study. *American Journal of Potato Research*, *96*(2), 151-163. https://doi.org/10.1007/s12230-018-09707-2

Duarte-Delgado, D., Narváez-Cuenca, C.-E., Restrepo-Sánchez, L.-P., Kushalappa, A., & Mosquera-Vásquez, T. (2015). Development and validation of a liquid chromatographic method to quantify sucrose, glucose, and fructose in tubers of Solanum tuberosum Group Phureja. *Journal of Chromatography B*, *975*, 18-23. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2014.10.039

Faller, A. L., Fialho, E., & Liu, R. H. (2012). Cellular Antioxidant Activity of Feijoada Whole Meal Coupled with an in Vitro Digestion. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *60*(19), 4826-4832. https://doi.org/10.1021/jf300602w

Fellegrini, N., Ke, R., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). [34] Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2,2'-azinobis (3-ethylenebenzothiazoline-6-sulfonic acid radical cation decolorization assay. En Packer, L. (Ed.), *Methods in Enzymology*, *299* (pp. 379-389). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99037-7

Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*(7), 1043-1048. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.008

Galdón, B. R., Rodríguez, L. H., Mesa, D. R., León, H. L., Pérez, N. L., Rodríguez Rodríguez, E. M., & Romero, C. D. (2012). Differentiation of potato cultivars experimentally cultivated based on their chemical composition and by applying linear discriminant analysis. *Food Chemistry*, *133*(4), 1241-1248. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.016

García-Torres, S. M., Chire-Fajardo, G. C., Repo-Carrasco, R., & Ureña-Peralta, M. O. (2022). Efecto de la fritura sobre los componentes bioactivos de la papa nativa (*Solanum tuberosum* sp.) Puka Ambrosio. *Revista Chilena de Nutrición*, *49*(1), 7-16. https://doi.org/10.4067/s0717-75182022000100007

Granito, M., Brito, Y., & Torres, A. (2007). Chemical composition, antioxidant capacity and functionality of raw and processed Phaseolus lunatus. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *87*(15), 2801-2809. https://doi.org/10.1002/jsfa.2926

Hernández, Y., Lobo, M. G., & González, M. (2006). Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chemistry*, *96*(4), 654-664. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.012

Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán,

México. *Food Science and Technology*, *28*, 718-726. https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031

Hirose, Y., Fujita, T., Ishii, T., & Ueno, N. (2010). Antioxidative properties and flavonoid composition of Chenopodium quinoa seeds cultivated in Japan. *Food Chemistry*, *119*(4), 1300-1306. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.008

Horton, D., & Samanamud, K. (2013). *Peru's native potato revolution* [brochure]. Centro Internacional de la Papa. https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/67167

Huang, W. Y., Davidge, S. T., & Wu, J. (2013). Bioactive Natural Constituents from Food Sources - Potential Use in Hypertension Prevention and Treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *53*(6), 615-630. https://doi.org/10.1080/10408398.2010.550071

Jansky, S. H. (2010). Potato Flavor. *American Journal of Potato Research*, *87*(2), 209-217. https://doi.org/10.1007/s12230-010-9127-6

Ji, X., Rivers, L., Zielinski, Z., Xu, M., MacDougall, E., Stephen, J., Zhang, S., Wang, Y., Chapman, R. G., Keddy, P., Robertson, G. S., Kirby, C. W., Embleton, J., Worrall, K., Murphy, A., De Koeyer, D., Tai, H., Yu, L., Charter, E., & Zhang, J. (2012). Quantitative analysis of phenolic components and glycoalkaloids from 20 potato clones and in vitro evaluation of antioxidant, cholesterol uptake, and neuroprotective activities. *Food Chemistry*, *133*(4), 1177-1187. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.065

Jiménez, M. E., Rossi, A. M., & Sammán, N. C. (2009). Phenotypic, agronomic and nutritional characteristics of seven varieties of Andean potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, *22*(6), 613-616. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.08.004

Kanter, M., & Elkin, C. (2019). Potato as a Source of Nutrition for Physical Performance. *American Journal of Potato Research*, *96*(2), 201-205. https://doi.org/10.1007/s12230-018-09701-8

Kita, A., Bąkowska-Barczak, A., Hamouz, K., Kułakowska, K., & Lisińska, G. (2013). The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red- and purple-fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, *32*(2), 169-175. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.09.006

Koh, J., Xu, Z., & Wicker, L. (2020). Blueberry pectin and increased anthocyanins stability under in vitro digestion. *Food Chemistry*, *302*, 125343. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125343

Kolbe, H., & Stephan-Beckmann, S. (1997). Development, growth and chemical composition of the potato crop (*solanum tuberosum* L.). II. Tuber and whole plant. *Potato Research*, *40*(2), 135-153. https://doi.org/10.1007/BF02358240

Kumari, M., Kumar, M., & Solankey, S. S. (2018). *Breeding Potato for Quality Improvement. Potato - From Incas to All Over the World*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.71482

Lee, S. H., Oh, S. H., Hwang, I. G., Kim, H. Y., Woo, K. S., Woo, S. H., Kim, H. S., Lee, J., & Jeong, H. S. (2016). Antioxidant Contents and Antioxidant Activities of White and Colored Potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Preventive Nutrition and Food Science*, *21*(2), 110-116. https://doi.org/10.3746/pnf.2016.21.2.110

Lemos, M. A., Aliyu, M. M., & Hungerford, G. (2015). Influence of cooking on the levels of bioactive compounds in Purple Majesty potato observed via chemical and spectroscopic means. *Food Chemistry*, *173*, 462-467. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.064

Liang, D., Zhu, T., Ni, Z., Lin, L., Tang, Y., Wang, Z., Wang, X., Wang, J., Lv, X., & Xia, H. (2017). Ascorbic acid metabolism during sweet cherry (*Prunus avium*) fruit development. *PLoS ONE*, *12*(2). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172818

Liu, Y., Zhang, D., Wu, Y., Wang, D., Wei, Y., Wu, J., & Ji, B. (2014). Stability and absorption of anthocyanins from blueberries subjected to a simulated digestion process. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *65*(4), 440-448. https://doi.org/10.3109/09637486.2013.869798

López-Cobo, A., Gómez-Caravaca, A. M., Cerretani, L., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2014). Distribution of phenolic compounds and other polar compounds in the tuber of *Solanum tuberosum* L. by HPLC-DAD-q-TOF and study of their antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, *36*(1), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.04.009

Margraf, T., Karnopp, A. R., Rosso, N. D., & Granato, D. (2015). Comparison between Folin-Ciocalteu and Prussian Blue Assays to Estimate The Total Phenolic Content of Juices and Teas Using 96-Well Microplates. *Journal of Food Science*, *80*(11), C2397-2403. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13077

Mileo, A. M., & Miccadei, S. (2016). Polyphenols as Modulator of Oxidative Stress in Cancer Disease: New Therapeutic Strategies. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 6475624. https://doi.org/10.1155/2016/6475624

Muhammad, A., Mohammed, I., Yusuf, H., Nasiru, M., & Mu, T. (2018). Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.) as Influenced by Variety and Planting Date in the Sudan Savanna Ecological Zone of Nigeria. *International Journal of Life-Sciences Scientific Research*. 4. https://www.researchgate.net/publication/325125787_Yield_of_Potato_Solanum_tuberosum_L_as_Influenced_by_Variety_and_Planting_Date_in_the_Sudan_Savanna_Ecological_Zone_of_Nigeria

Narváez-Cuenca, C. E., Peña, C., Restrepo-Sánchez, L. P., Kushalappa, A., & Mosquera, T. (2018). Macronutrient contents of potato genotype collections in the *Solanum tuberosum* Group Phureja. *Journal of Food Composition and Analysis*, *66*, 179-184. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.019

Natividad Bardales, Á. D., Muñoz Garay, S. G., Villanueva Tiburcio, J. E., Rojas Portal, R. M., Chamorro Gómez, R. E., Cueto Rosales, C. R., Bravo Romaina, J. M., Beraun Bedoya, J. R., & Mendoza Aguilar, A. (2022). Caracterización fisicoquímica de cuatro variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) con aptitud para fritura, cultivadas en dos zonas en Huánuco. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, *88*(3), 237-250. https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.400

Navarre, D. A., Brown, C. R., & Sathuvalli, V. R. (2019). Potato Vitamins, Minerals and Phytonutrients from a Plant Biology Perspective. *American Journal of Potato Research*, *96*(2), 111-126. https://doi.org/10.1007/s12230-018-09703-6

Oroian, M., & Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*, *74*, 10-36. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018

Pertuzatti, P. B., Sganzerla, M., Jacques, A. C., Barcia, M. T., & Zambiazi, R. C. (2015). Carotenoids, tocopherols and ascorbic acid content in yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) grown under different cultivation systems. *LWT - Food Science and Technology*, *64*(1), 259-263. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.031

Rapisarda, P., Fanella, F., & Maccarone, E. (2000). Reliability of analytical methods for determining anthocyanins in blood orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*(6), 2249-2252. https://doi.org/10.1021/jf991157h

Reddivari, L., Wang, T., Wu, B., & Li, S. (2019). Potato: An Anti-Inflammatory Food. *American Journal of Potato Research*, *96*(2), 164-169. https://doi.org/10.1007/s12230-018-09699-z

Ren, J., Chen, Z., Duan, W., Song, X., Liu, T., Wang, J., Hou, X., & Li, Y. (2013). Comparison of ascorbic acid biosynthesis in different tissues of three non-heading Chinese cabbage cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry: PPB*, *73*, 229-236. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.10.005

Ru, W., Pang, Y., Gan, Y., Liu, Q., & Bao, J. (2019). Phenolic Compounds and Antioxidant Activities of Potato Cultivars with White, Yellow, Red and Purple Flesh. *Antioxidants*, *8*(10), 419. https://doi.org/10.3390/antiox8100419

Saguy, I. S., & Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: Engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, *56*(2), 143-152. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00243-1

Scott, G. J., & Kleinwechter, U. (2017). Future Scenarios for Potato Demand, Supply and Trade in South America to 2030. *Potato Research*, *60*(1), 23-45. https://doi.org/10.1007/s11540-017-9338-z

Senasa. (2017, junio 1). *Andina - CIP: Perú promoverá 3,000 variedades de papa en congreso mundial en 2018*. Senasa al día. https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/andina-cip-peru-promovera-3000-variedades-de-papa-en-congreso-mundial-en-2018/

Sheraz, M. A., Khan, M. F., Ahmed, S., Kazi, S. H., & Ahmad, I. (2015). Stability and Stabilization of Ascorbic Acid, A Review. *H&PC Today - Household and Personal Care Today*, *10*(3), 22-25. https://www.teknoscienze.com/tks_article/stability-and-stabilization-of-ascorbic-acida-review/

Smirnoff, N. (2018). Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals. *Free Radical Biology and Medicine*, *122*, 116-129. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.03.033

Soriano Sancho, R. A., Pavan, V., & Pastore, G. M. (2015). Effect of *in vitro* digestion on bioactive compounds and antioxidant activity of common bean seed coats. *Food Research International*, *76*, 74-78. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.042

Spooner, D. M., McLean, K., Ramsay, G., Waugh, R., & Bryan, G. J. (2005). A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *102*(41), 14694-14699. https://doi.org/10.1073/pnas.0507400102

Tagliazucchi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D., & Conte, A. (2010). *In vitro* bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, *120*(2), 599-606. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.030

Talley, E. A., Toma, R. B., & Orr, P. H. (1984). Amino acid composition of freshly harvested and stored potatoes. *American Potato Journal*, *61*(5), 267-279. https://doi.org/10.1007/BF02854138

Tang, Y., Cai, W., & Xu, B. (2015). Profiles of phenolics, carotenoids and antioxidative capacities of thermal processed white, yellow, orange and purple sweet potatoes grown in Guilin, China. *Food Science and Human Wellness*, *4*(3), 123-132. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.07.003

Tatarowska, B., Milczarek, D., Wszelaczyńska, E., Pobereżny, J., Keutgen, N., Keutgen, A. J., & Flis, B. (2019). Carotenoids Variability of Potato Tubers in Relation to Genotype, Growing Location and Year. *American Journal of Potato Research*, *96*(5), 493-504. https://doi.org/10.1007/s12230-019-09732-9

Tierno, R., Hornero-Méndez, D., Gallardo-Guerrero, L., López-Pardo, R., & de Galarreta, J. I. R. (2015). Effect of boiling on the total phenolic, anthocyanin and carotenoid concentrations of potato tubers from selected cultivars and introgressed breeding lines from native potato species. *Journal of Food Composition and Analysis*, *41*, 58-65. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.01.013

Villanueva-Tiburcio, J. E., Condezo-Hoyos, L. A., & Asquieri, E. R. (2010). Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh). *Food Science and Technology*, *30*, 151-160. https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000500023

Vinci, G., Botrè, F., Mele, G., & Ruggieri, G. (1995). Ascorbic acid in exotic fruits: A liquid chromatographic investigation. *Food Chemistry*, *53*(2), 211-214. https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)90791-5

Wang, J., Zhang, Z., & Huang, R. (2013). Regulation of ascorbic acid synthesis in plants. *Plant Signaling & Behavior*, *8*(6), e24536. https://doi.org/10.4161/psb.24536

Wijesinha-Bettoni, R., & Mouillé, B. (2019). The Contribution of Potatoes to Global Food Security, Nutrition and Healthy Diets. *American Journal of Potato Research*, *96*(2), 139-149. https://doi.org/10.1007/s12230-018-09697-1

Zampedri, C. A., Zampedri, P. A., Scattolaro, O., Zapata, L. M., & Castagnini, J. M. (2018). Evaluación de la digestión *in vitro* de compuestos bioactivos de arándanos. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, *29*(57), 285-295. https://doi.org/10.33255/2957/320

Zhou, L., Mu, T., Ma, M., Zhang, R., Sun, Q., & Xu, Y. (2019). Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis (GRA) and its application in potato steamed bread making. *Journal of Integrative Agriculture*, *18*(1), 231-245. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62137-9