

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, COMPUESTOS BIOACTIVOS, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y SU COMPORTAMIENTO DURANTE LA DIGESTIÓN *in vitro* DE HARINA DE COL MORADA (*Brassica oleracea* VAR. *capitata f. rubra*)

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION, BIOACTIVE COMPOUNDS, ANTIOXIDANT ACTIVITY, AND THEIR BEHAVIOR DURING *in vitro* DIGESTION OF PURPLE CABBAGE FLOUR (*Brassica oleracea* VAR. *capitata f. rubra*)

Caracterización y digestibilidad de harina de col morada

Jean Alejandro Vázquez-García¹, Javier Piloni-Martini^{1*}, Aurora Quintero-Lira¹, Sergio Soto-Simental¹, Juan Ocampo-López¹, Lucio González-Montiel²

¹Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Av. Rancho Universitario s/n Km 1, 43760, Tulancingo, Hidalgo, México.

²Instituto de Tecnología de los Alimentos, Universidad de la Cañada, 68540, Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: javier_piloni7632@uaeh.edu.mx

Jean Alejandro Vázquez-García, ORCID: 0009-0006-4493-8692

Javier Piloni-Martini, ORCID: 0000-0002-1367-5010

Aurora Quintero-Lira, ORCID: 0000-0003-4638-6028

Sergio Soto-Simental, ORCID: 0000-0002-6923-0926

Juan Ocampo-López, ORCID: 0000-0002-9208-7216

Lucio González-Montiel, ORCID: 0000-0001-6222-3259

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 28 de marzo de 2024

RESUMEN

La col morada (*Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra*) es una hortaliza que se produce para su uso en la elaboración de diversos platillos culinarios. Destaca por su alto contenido de agua, proteínas, minerales, fibra y su aporte de grasa bajo. Contiene compuestos bioactivos como antocianinas, fenoles y flavonoides necesarios para neutralizar radicales libres en el cuerpo humano. Se elaboró una harina para evaluar las características fisicoquímicas y propiedades antioxidantes de la col morada y su comportamiento mediante una digestión *in vitro*. Los resultados mostraron que la harina de col morada es rica en carbohidratos (68.61 ± 0.15 %), proteínas (15.57 ± 0.17 %) y cenizas (8.71 ± 0.53 %), además de ser baja en grasas (0.55 ± 0.03 %). Los compuestos bioactivos y las propiedades antioxidantes presentaron un comportamiento descendente en cada fase

digestiva. En conclusión, los antioxidantes sufren una degradación en las diferentes fases de la digestión *in vitro*.

PALABRAS CLAVE

Composición químico proximal, antocianinas, fenoles, digestibilidad

ABSTRACT

Purple cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) is a vegetable that is produced for use in the preparation of various culinary dishes. It stands out for its high content of water, proteins, minerals, fiber and its low fat content. It contains bioactive compounds such as anthocyanins, phenols and flavonoids necessary to neutralize free radicals in the human body. A flour was prepared to evaluate the physicochemical characteristics and antioxidant properties of purple cabbage and its behavior through *in vitro* digestion. The results showed that red cabbage flour is rich in carbohydrates ($68.61 \pm 0.15\%$), proteins ($15.57 \pm 0.17\%$), and ash ($8.71 \pm 0.53\%$), in addition to being low in fat ($0.55 \pm 0.03\%$). Bioactive compounds and antioxidant properties showed a decreasing behavior in each digestive phase. In conclusion, antioxidants suffer degradation in the different phases of *in vitro* digestion.

KEYWORDS

Proximate chemical composition; anthocyanins; phenols; digestibility

INTRODUCCIÓN

Las hortalizas son plantas comestibles utilizadas como alimento, se caracterizan por ser utilizadas en gran medida sin ninguna transformación industrial y se cultivan de forma intensiva (FAO 2020). El género *Brassica* incluye varias especies con importancia económica debido a que proporcionan raíces, hojas y semillas oleaginosas comestibles incluidas, la col (*Brassica oleracea* var. *capitata*), la col rizada (*Brassica oleracea* var. *sabellica*), el brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), las coles de Bruselas (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*), y la coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) (Shah et al. 2021).

De estas, la col morada (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) es una de las especies más consumidas en todo el mundo (Šamec y Salopek-Sondi 2019), debido a su consumo en estado fresco en diferentes platillos (Hanschen 2020) y a su composición química, que incluye micronutrientes y fitoquímicos, como vitaminas A, C y K, polifenoles totales, glucosinolatos y antocianinas (Drozdowska et al. 2020).

El color de la col está influenciado por varios factores, incluido el pH del suelo y el contenido de 30 antocianinas, que contienen principalmente derivados de cianidina-3-diglucósido-5 glucósidos en formas aciladas o no acetiladas (Ahmadiani et al. 2019). Las antocianinas muestran efectos sobre la salud en humanos, como antiinflamatorios, antidiabéticos y una compatibilidad alta con los sistemas biológicos (Farooq et al. 2020). Sin embargo, para conferir estos efectos benéficos sobre la salud, los compuestos antioxidantes deben encontrarse biodisponibles después del tracto digestivo, llegando al intestino delgado considerablemente reducidos, lo que afecta su biodisponibilidad (Izzo et al. 2020).

Con base en lo anterior, se realizó una caracterización fisicoquímica de la obtención de la molienda de col morada deshidratada (harina), enfatizando en el contenido de compuestos bioactivos y su capacidad antioxidante para apreciar su comportamiento antes y después de ser sometida a la digestión *in vitro* en las tres diferentes fases: oral, gástrica e intestinal y evaluar su biodisponibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la materia prima

Se obtuvieron 45 kg de col morada fresca en la central de abastos de Pachuca de Soto Hidalgo, México, en la temporada de junio a julio del 2021. Las hojas de la hortaliza se lavaron con solución de hipoclorito de sodio al 1 % para después dejarlas escurrir y proceder a cortarlas en tiras; estas fueron extendidas en charolas para llevar a deshidratar en un horno de secado con flujo de aire (Biobase, Mod. BOV-T70C, Jinan, China) a temperatura constante de 45 °C durante 36 h. Posteriormente se molió con ayuda de un molino modelo HC-2000Y® (Damai®, Jiawanshun, China) y se tamizó en un tamiz de acero inoxidable con malla del Núm.100, posteriormente se almacenó en bolsas herméticas metalizadas hasta su uso.

Análisis químico proximal

Se realizó por triplicado en la harina de col morada determinando por gravimetría la humedad (925.10), fibra (985.29) y cenizas (923.03). El contenido de lípidos se determinó por método de Soxhlet utilizando como disolvente éter de petróleo (920.39), mientras que el contenido de proteína fue determinado por método Kjeldahl (920.87) y finalmente, el contenido de carbohidratos totales fue calculado por diferencia (AOAC 2005).

Actividad de agua (aW)

La determinación de la actividad de agua se realizó con en el equipo HygroPalm AW-1® (Rotronic®, Bassersdorf, Suiza) con una sonda AW-DIO después de 10 min de lectura a 23°C (Budryn et al. 2013).

pH

El pH se midió con el método 10.035 de AOAC (2005), para esto se pesaron 5 g de harina de col morada y se disolvieron en 25 mL de agua destilada, y se midió directamente con un potenciómetro previamente calibrado (buffers pH 4.7 y 10) (HINOTEK®, Ningbo, China) (AOAC 2005).

Sólidos solubles (°Brix)

La cantidad de sólidos solubles totales se determinó de acuerdo con la norma ISO 2173:2003, se pesó 1 g de muestra y se diluyó en 10 mL de agua destilada; se utilizó un refractómetro SMART-1® (Atago®, Tokio, Jaón) (ISO 2003).

Azúcares reductores Totales y Directos por el método DNS

Para determinar los azúcares reductores, se preparó el reactivo DNS (3,5-dinitrosalicílico), de la forma siguiente: primero se realizó una curva patrón a partir de glucosa al 0.2 % y se realizaron diluciones a concentraciones que fueron de 0.2 g/L hasta 2.0 g/L. Posteriormente se determinaron por triplicado los azúcares reductores totales (ART) en donde se colocó en un tubo de ensaye 0.5 g de muestra, 2.6 mL de agua destilada y 300 µL de HCl al 5 %, después se agitó el contenido en un vortex y se calentó en baño maría a 60 °C por 30 min, posteriormente se realizó un choque térmico en agua con hielo, se ajustó el pH entre 6 a 8 con una solución de KOH 3N y se aforó el contenido a 15 mL. De esta muestra hidrolizada se tomaron 500 µL y se colocaron en un tubo de ensaye con 500 µL de DNS para calentar a ebullición por 5 min, después se enfrió en agua con hielo y se agregaron 5 mL de agua destilada homogenizando perfectamente, las lecturas se realizaron en el espectrofotómetro a 540 nm. Para los azúcares reductores directos (ARD), se colocaron 0.5 g de muestra en un vaso de precipitado y se le agregaron 5 mL de agua destilada, se ajustó pH entre 6 a 8 con una solución de KOH al 3N y después se aforó a 10 mL con agua destilada, de la muestra se tomaron 500 µL y se colocaron en un tubo de ensaye y se le agregaron 500 µL de DNS,

se calentaron a ebullición por 5 min., se enfrió en agua con hielo y se le agregaron 5 mL de agua destilada, finalmente se homogenizó y se realizó la lectura a 540 nm (Miller 1959).

Tamiz fitoquímico

Los compuestos químicos presentes en la harina de col morada se determinaron con los siguientes ensayos fitoquímicos de reacciones colorimétricas de acuerdo con Beltrán et al. (2013): alcaloides por prueba de Mayer, los esteroides con la reacción de Liebermann-Burchard; insaturaciones y sesquiterpenlactonas por la prueba de Baljet; flavonoides por prueba del ácido sulfúrico; saponinas mediante la prueba de Salkowski y prueba de Shinoda; cumarinas con la prueba de hidróxido de sodio; y oxhidrilos fenólicos con la prueba del cloruro de hierro. Además, se determinaron glicósidos de antraquinona (prueba de Bornträger), glucósido cardíaco (prueba de Keller-Killiani), quinonas (ensayo de Bornträger), taninos (ensayo de cloruro férrico) y antocianinas con la prueba del ácido clorhídrico.

Cuantificación de antocianinas totales

Se cuantificó el contenido total de antocianinas monoméricas mediante el método de pH diferencial con las ecuaciones descritas en la AOAC (2005). Se prepararon dos soluciones buffer: una de KCl 0.025 M ajustando el pH a 1.0 con HCl y otra de acetato de sodio 0.5 M ajustando el pH a 4.5 con HCl. Se hicieron reaccionar de forma independiente 2 mL de los dos diferentes buffers con 0.5 mL del sobrenadante obtenido de la mezcla de harina de col con agua destilada para dejarlos reposar por 15 min y posteriormente se traspasó el contenido a las celdas de cuarzo de 10 mm de longitud para colocarlas en el espectrofotómetro (Shimadzu, UV-1280®, Estados Unidos), ambas celdas se leyeron a una longitud de onda de de 520 y 700 nm. Esto se hizo por triplicado. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de cianidina-3-glu (mg Cyn-3-glu) (Lee et al. 2005).

Fenoles totales

La cuantificación de fenoles totales se realizó por triplicado reaccionando 1,580 µL del sobrenadante (harina de col morada mezclada con agua destilada, llevada a la centrifuga por 5 min a 10,000 rpm (728 g) con 100 µL Folin-Ciocalteu y dejando reposar en completa oscuridad por 8 min para posteriormente agregar 200 µL de solución de Na₂CO₃, al 20 %, una vez homogeneizado se colocó a baño maría a 50 °C por 50 min para después colocar en las celdas de cuarzo y leer en espectrofotómetro visible UV-1280® (Shimadzu®, Kioto, Japón) a una absorbancia de 765 nm. Se realizó la curva de calibración de ácido gálico y los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico (Nguyen et al. 2020).

Flavonoides totales

El contenido total de flavonoides se determinó de acuerdo con Lin y Tang (2007), con algunas modificaciones (sustituyendo el alcohol por metanol): mezclando 1 g de harina de col morada en 5 mL de metanol (100 %), se homogeneizaron y centrifugaron a 10,000 rpm (728 g) durante 15 min. Luego, se colocaron 2 mL del sobrenadante en un tubo de ensayo y se le agregaron 2 mL de AlCl₃ al 2%, y la mezcla se mantuvo en oscuridad durante 20 min. La absorbancia a 415 nm se midió con un espectrofotómetro visible UV-1280® (Shimadzu®, Kioto, Japón). Se usó quercetina para la curva estándar. El contenido total de flavonoides se expresó en mg de equivalente de quercetina/100 g de harina de col morada (mg QE/100 g).

Actividad antioxidante

DPPH

Se preparó la solución estándar de radicales de 2,000 ppm del radical libre 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH*) en metanol grado analítico, la cual se almacenó a 0 °C, en recipiente ámbar recubierto con papel aluminio para mayor protección contra luz. Se obtuvo el sobrenadante mezclando harina de col morada con agua destilada y se centrifugó por 5 min a 10,000 rpm (728 g). Se añadieron 1.95 mL de la solución estándar de radicales y se mezcló con 0.05 mL del sobrenadante previamente obtenido, se dejó reposar en total oscuridad por 30 min, posteriormente la absorbancia a 517 nm se midió con un visible UV-1280® (Shimadzu®, Kioto, Japón). Se realizó la curva de calibración con Trolox y los resultados fueron expresados en mg equivalentes de Trolox (Brand-Williamas et al. 1995; Xu et al. 2014).

ABTS

Se preparó una solución combinada con persulfato potasio al 2.45 mM, durante una prueba previa de mezcla de 16 h. El radical se ajustó en un espectrofotómetro (Shimadzu, UV-1280®, Estados Unidos) con una longitud de onda de 732 nm a 0.7 ± 0.02 nm de absorbancia a una longitud de onda de 732 nm para después en un tubo de ensayo mezclar 1.450 mL de radical y 50 µL de muestra, se dejó reaccionar durante 30 min en oscuridad total, la absorbancia a 732 se midió con un espectrofotómetro visible UV-1280® (Shimadzu®, Kioto, Japón). Se realizó la curva de calibración con Trolox y los resultados fueron expresados en mg equivalentes de Trolox (mg ET) (Re et al. 1999; Minekus et al. 2014).

Digestión *in vitro* de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

La simulación *in vitro* de la digestión gastrointestinal de la harina de col morada se realizó según Minekus et al. (2014) con algunas modificaciones (mayor cantidad de agua y solución salivaria en la fase oral). Esta se dividió en tres etapas: (a) Fase oral, en donde 2 g de harina de col morada se mezclaron con 9.950 mL de agua, 3.5 mL de solución salivaria simulada, 1,500 U de α -amilasa y 25 µL de CaCl_2 0.3 M. La mezcla se incubó en baño María a 37 °C, con agitación, durante 2 min. (b) Fase gástrica; 10 mL de muestra líquida de la fase oral se mezclaron con 7.5 mL de solución gástrica simulada, 2,500 U de pepsina porcina, 5 µL de CaCl_2 0.3 M, 0.2 mL de HCl 1M para llegar a pH 3.0 y 0.695 mL de agua. La mezcla se incubó en baño maría a 37 °C, con agitación durante 120 min. (c) Fase intestinal, 10 mL de fase gástrica se mezclaron con 11 mL de solución intestinal simulada, se añadió líquido pancreático al 10 % (0.4 g de pancreatina y 2.5 g de sales biliares en 100 mL de NaHCO_3 0.1 M), se ajustó el pH a 7 con NaHCO_3 0.5 M, después, la mezcla se incubó en un baño María a 37 °C, con agitación durante 120 min. Se tomaron cuatro muestras para su posterior análisis: de la harina de col morada antes de iniciar la digestión, y al finalizar cada fase, oral, la gástrica y la intestinal. Todas las muestras se centrifugaron a 10,000 rpm (728 g) durante 10 min a 4 °C con una centrífuga (Hermle, Z 36 HK®, Gosheim, Alemania) y posteriormente se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis para la determinación de antocianinas, fenoles totales, flavonoides, capacidad antioxidante con el reactivo 2,2'-Azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS⁺) y 2,2-Difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH⁺).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo con el *software* SPSS 25.0 (SPSS Inc., Chicago, Estados Unidos). Los datos recopilados fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA). Al encontrar diferencias significativas se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey, considerando un nivel de significancia de $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención y caracterización fisicoquímica de la harina de col morada

De los 45 kg de col morada fresca se obtuvo 4.44 kg de harina, lo que representa un 9.88 % de rendimiento en comparación al peso inicial. Similares resultados reportan Rodríguez-Basantes et al. (2019), donde obtienen 9.31% de materia seca. En el Cuadro 1 se observan los resultados obtenidos del análisis químico proximal. En un estudio realizado por Brito et al. (2020), reportan que en harina de col rizada tuvieron una concentración de humedad 10.35 ± 3.33 % y cenizas 18.05 ± 0.66 %. La diferencia de humedad pudo ser debido al método de secado utilizado, habiendo una diferencia en la temperatura y tiempo empleado (65°C por 6 h) además de las diferentes partes de la hortaliza usada, ya que ellos ocuparon solamente los tallos, los cuales concentran mayor humedad. Brito et al. (2020), reportan un mayor contenido de cenizas en la col rizada en comparación a la col morada. En cuanto a los lípidos, Brito et al. (2020) reportan un total de 0.80 ± 0.53 %, valor similar al obtenido en la harina de col morada 0.55 ± 0.03 %. Para proteína reportan valores inferiores, 12.28 ± 1.28 %, lo que pudo deberse a la parte de la hortaliza empleada y al contenido de humedad que esta contenía.

Cuadro 1. Análisis químico proximal en harina de col morada.

Parámetro (%)	
Humedad	6.01 ± 0.53
Grasa	0.55 ± 0.03
Fibra	0.1 ± 0.01
Proteína	15.57 ± 0.17
Cenizas	8.71 ± 0.53
Carbohidratos	68.61 ± 0.15

Actividad de agua (aW), pH, °Brix y azúcares reductores directos y totales (ARD Y ART)

El valor de aW (Cuadro 2) se encuentra dentro de los indicados de acuerdo con De Michelis y Ohaco (2016) quienes mencionan que valores de aW inferiores de 0.6 son aceptados para que un producto deshidratado sea estable y que las reacciones de degradación ocurran a baja velocidad. Rodríguez-Basantes et al. (2019) realizaron un análisis fisicoquímico en harina de col morada, obteniendo un pH de 4.66 ± 0.03 , valor inferior al de esta investigación, lo que pudo deberse a las condiciones del suelo donde se cultivó. En relación a los sólidos solubles totales Rodríguez-Basantes et al. (2019) reportaron un valor de 16.7 ± 1.01 , esto pudo deberse a la temporada del año en la que recolectaron la hortaliza y al nivel de maduración de la misma de acuerdo a lo que se reporta al contenido de los sólidos solubles totales y el momento de corte en frutas y hortalizas. Valencia-Arredondo et al. (2020), determinaron los azúcares reductores en extracto de col morada fresca la cual presentó 0.93 ± 0.01 mg eq glucosa, valor inferior en comparación al presente trabajo, atribuido al tratamiento empleado; ya que en el extracto pudieron estar diluidos mientras que en la harina se encontraban concentrados debido a la pérdida de humedad.

Cuadro 2. Actividad de agua (aW), pH y °Brix en harina de col morada.

Parámetro	Harina de col morada
aW	0.281±0
pH	6.15±0.02
°Brix	6.6±0.01
ARD (mg eq glucosa)	4.17±0.15
ART (mg eq glucosa)	6.01±0.08

ARD= Azúcares reductores directos; ART= Azúcares reductores totales.

Tamiz fitoquímico

Se detectó la presencia de alcaloides, insaturaciones, compuestos fenólicos, sesquiterpenlactonas, flavonoides, saponinas, taninos y antocianinas (Cuadro 3). Fernández et al. (2019), quienes realizaron un tamizaje fitoquímico al extracto etanolito de las hojas de col morada, reportaron la presencia de alcaloides, compuestos fenólicos, flavonoides, taninos y antocianinas, resultados similares a los del presente estudio.

Cuadro 3. Tamiz fitoquímico de harina de col morada.

Metabolito	Resultado
Alcaloides	+
Insaturaciones	+
Compuestos fenólicos	+
Sesquiterpenlactonas	+
Flavonoides	+
Saponinas	+
Cumarinas	-
Esteroles	-
Taninos	+
Antocianinas	+

+ = Presencia; - = Ausencia.

Compuestos bioactivos, actividad antioxidante y su comportamiento durante la digestión *in vitro*

Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los valores de los compuestos bioactivos de la harina de col morada tras ser sometida a la fase oral. La actividad antioxidante no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$). Reyes-Morales et al. (2023), mencionan la acción de la α -amilasa como catalizadora en el rompimiento de las cadenas de azúcares quienes están asociados a los compuestos bioactivos, por lo que puede deberse la disminución de los compuestos bioactivos a este suceso. Podsędek et al. (2014), obtuvieron de antocianinas en col morada fresca un 34.28 ± 1.60 mg/100 g (eq Cianidina 3 glucosidada) y para compuestos fenólicos 108.78 ± 7.61 mg/100 g (eq ácido gálico), estos

datos son inferiores al presente estudio; debido a la concentración de los compuestos por parte de la harina en relación a la humedad que posee en estado fresco. En relación a la actividad antioxidante, Thi et al. (2022), obtuvieron en un extracto con cloroformo de hojas deshidratadas de col morada para ABTS una actividad de 87.86 ± 0.16 % y para DPPH 92.08 ± 0.66 %, valores superiores en comparación a esta investigación debido posiblemente a los solventes empleados, ya que primero hicieron una extracción de compuestos no polares con hexano para posteriormente usar el cloroformo en la extracción de los compuestos antioxidantes, lo que pudo favorecer el incremento de la actividad.

Cuadro 4. Compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y digestión *in vitro* en harina de col morada.

Compuesto/actividad	PCF	OP	GP	IP
Antocianinas mg/g eq Cianidina				
3 glucosidada	1.18±0.00 ^a	1.15±0.00 ^b	0.72±0.00 ^c	0.57±0.00 ^d
Fenoles mg/g eq ácido gálico	11.36±0.01 ^a	10.35±0.02 ^b	8.85±0.06 ^c	3.77±0.13 ^d
Flavonoides mg/g eq Quercetina	3.13±0.09 ^a	2.69±0.02 ^b	0.13±0.00 ^c	0.09±0.00 ^c
ABTS % inhibición	73.24±1.08 ^a	71.23±1.08 ^{ab}	70.48±1.14 ^b	68.94±0.48 ^b
DPPH % inhibición	83.68±0.06 ^a	83.18±0.21 ^a	49.55±0.30 ^b	44.10±0.14 ^c

Diferentes letras minúsculas en las columnas representan una diferencia significativa ($p < 0.05$) con una comparación de medias mediante la prueba de Tukey. PCF = Harina de col morada, OP = Fase oral, GP = Fase gástrica, IP = Fase intestinal.

Fase gástrica (GP)

Hubo una disminución de los compuestos bioactivos y en la actividad antioxidante en comparación a la fase oral. Esto puede deberse a que las condiciones del trayecto gástrico provocan algún tipo de hidrólisis o reacción con otros compuestos como el ácido estomacal o las enzimas que afectan la capacidad antioxidante (Zampedri et al. 2018). Podsędek et al. (2014), realizaron una digestión *in vitro* al extracto de col morada (metanol al 70 %) presentando un comportamiento de disminución similar, ellos concluyeron que las antocianinas se ven afectadas por la composición de la col y los componentes vegetales, incluida la fibra dietética.

Fase intestinal (IP)

Los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante presentaron una disminución con diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación a las diferentes fases. Podsędek et al. (2014) reportan que durante la digestión intestinal, la estabilidad de las antocianinas depende en gran medida de las matrices alimentarias. Por lo anteriormente mencionado y por lo obtenido en este estudio se puede deducir que las antocianinas se ven degradadas tras el paso digestivo. Izzo et al. (2020), realizaron una digestión *in vitro* en extracto de col morada con ácido fórmico (MeOH:H₂O (6:4) 0.1 % FA) iniciando con un total de 19.98 ± 0.13 y terminando en fase intestinal con 22.28 ± 0.29 (mg/g eq ácido gálico), teniendo una potencialización de los compuestos fenólicos, efecto contrario a lo obtenido en este trabajo; lo que pudo deberse a la polaridad de los solventes empleados, consiguiendo en el extracto metanol-agua un tipo de antocianinas que con el pH modifiquen su estructura. Además, estos autores mencionan que durante la digestión gastrointestinal los compuestos bioactivos podrían ser metabolizados por la microflora colónica humana, generando

metabolitos con mayor bioactividad y más efectos benéficos. Sodagari et al. (2015), reportan que hasta el 70 % de las antocianinas derivadas de los alimentos podrían llegar al colon, por lo que una ingesta regular de alimentos ricos en antocianinas podría tener efectos benéficos para la salud humana.

CONCLUSIONES

La harina de col morada es rica en nutrimentos como carbohidratos y proteína, además posee un bajo aporte de grasa. En cuanto a los compuestos bioactivos, contiene fenoles, flavonoides y antocianinas a los cuales se les atribuye la actividad antioxidante, sin embargo sufren una disminución tras ser sometidos a la digestión *in vitro*, por lo que se sugiere la evaluación de su capacidad en un modelo *in vivo* para comprobar su funcionalidad.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada para realizar el Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

LITERATURA CITADA

- Ahmadiani N, Sigurdson GT, Robbins RJ, Collins TM, Giusti MM. 2019. Solid phase fractionation techniques for segregation of red cabbage anthocyanins with different colorimetric and stability properties. *Food Research International* 120: 688-696. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.026>
- [AOAC] Association of Analytical Chemistry. 2005. Official Method of Analysis. Gaithersburg, Estados Unidos.
- Beltrán CE, Díaz F, Gómez H. 2013. Tamizaje fitoquímico preliminar de especies de plantas promisorias de la costa atlántica colombiana. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 18: 619-631.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology* 28: 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Brito TBN, Pereira APA, Pastore GM, Moreira RFA, Ferreira MSL, Fai AEC. 2020. Chemical composition and physicochemical characterization for cabbage and pineapple by-products flour valorization. *LWT* 124: 109028. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109028>
- Budryn G, Żyżelewicz D, Nebesny E, Oracz J, Krysiak W. 2013. Influence of addition of green tea and green coffee extracts on the properties of fine yeast pastry fried products. *Food Research International* 50: 149-160. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.006>
- De Michelis A, Ohaco E. 2016. Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos. Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Drozdowska M, Leszczyńska T, Koronowicz A, Piasna-Słupecka E, Domagała D, Kusznierevicz B. 2020. Young shoots of red cabbage are a better source of selected nutrients and glucosinolates in comparison to the vegetable at full maturity. *European*

- Food Research and Technology 246: 2505-2515. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03593-x>
- [FAO] Food Agriculture Organization of the United Nations. 2020. Fruit and vegetables – your dietary essentials. The International Year of Fruits and Vegetables, 2021. Food Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. <https://doi.org/10.4060/cb2395en>
- Farooq S, Shah MA, Siddiqui MW, Dar BN, Mir SA, Ali A. 2020. Recent trends in extraction techniques of anthocyanins from plant materials. *Journal of Food Measurement and Characterization* 14: 3508-3519. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00598-8>
- Fernández GA, Chambi YM, Ayme JM, Quiñones ME, Tolentino JL, Bonilla PE. 2019. Estudio etnobotánico y fitoquímico de hojas de *Brassica oleracea* L. "Col morada". *Ciencia & Desarrollo* 20: 7-11. <https://doi.org/10.33326/26176033.2015.20.498>
- Hanschen FS. 2020. Domestic boiling and salad preparation habits affect glucosinolate degradation in red cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*). *Food Chemistry* 321: 126694. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126694>
- [ISO] International Organization for Standardization. 2003. Fruit and vegetable products – Determination of soluble solid-Refraction method. ISO: 2173:2003. International Organization for Standardization. Génova, Suiza.
- Izzo L, Rodríguez-Carrasco Y, Pacífico S, Castaldo L, Narváez A, Ritieni A. 2020. Colon bioaccessibility under in vitro gastrointestinal digestion of a red cabbage extract chemically profiled through UHPLC-Q-Orbitrap HRMS. *Antioxidants* 9: 955. <https://doi.org/10.3390/antiox9100955>
- Lee J, Durst RW, Wrolstad R. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International* 88: 1269. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
- Lin JY, Tang CY. 2007. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food chemistry* 101: 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.014>
- Miller GL. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry* 31: 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Minekus M, Alminger M, Alvito P, Ballance S, Bohn T, Bourlieu C, Carrière F, Boutrou R, Corredig M, Dupont D, Dufour C, Egger L, Golding M, Karakaya S, Kirkhus B, Le Feunteun S, Lesmes U, Macierzanka A, Mackie A, Marze S, McClements DJ, Ménard O, Recio I, Santos CN, Singh RP, Vegarud GE, Wickham MS, Weitschies, Brodkorb. 2014. A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food - an international consensus. *Food & Function* 5: 1113-1124. <https://doi.org/10.1039/C3FO60702J>
- Nguyen NHK, Phuong LNT, Linh PT, Truc TT, Cang MH. 2020. Bioactive compounds from Red Cabbage by Microwave-assisted extraction: anthocyanins, total phenolic compounds and the antioxidant activity. *Asian Life Sciences* 12: 172-184.
- Podsędek A, Redzyna M, Klewicka E, Koziółkiewicz M. 2014. Matrix effects on the stability and antioxidant activity of red cabbage anthocyanins under simulated gastrointestinal digestion. *BioMed Research International* 2014: 365738. <https://doi.org/10.1155/2014/365738>

- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26: 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Reyes-Morales KG, Michel MR, Gallegos-Infante JA, González-Laredo RF, Aguilar-Zárate P, Rocha-Guzmán NE. 2023. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica* 60: 1-28.
- Rodríguez-Basantés AI, Esparza-Bonilla CJ, Huacho-Chávez IF. 2019. Obtención de antocianinas de la *Brassica oleracea* var. *capitata* para el uso en alimentos. *Dominio de las Ciencias* 5: 652-666. <https://doi.org/10.23857/dc.v5i1.1067>
- Šamec D, Salopek-Sondi B. 2019. Cruciferous (brassicaceae) vegetables. En: Nabavi SM, Silva AS, editores. *Nonvitamin and nonmineral nutritional supplements*. Academic Press, Londres. P. 195-202. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00027-8>
- Shah AN, Tanveer M, Abbas A, Fahad S, Baloch MS, Ahmad, MI, Saud S, Song Y. 2021. Targeting salt stress coping mechanisms for stress tolerance in Brassica: A research perspective. *Plant Physiology and Biochemistry* 158: 53-64. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.044>
- Sodagari HR, Farzaei MH, Bahramsoltani R, Abdolghaffari AH, Mahmoudi M, Rezaei N. 2015. Dietary anthocyanins as a complementary medicinal approach for management of inflammatory bowel disease. *Expert Review of Gastroenterology & Hepatology* 9: 807-820. <https://doi.org/10.1586/17474124.2015.1002086>
- Thi HTT, Lubis K, Doan HV, Ho TN, Nguyen KTT. 2022. Antioxidant potential of red and white cabbage: A comparison. *JBIO: Journal Biosains* 8: 57-65. <https://doi.org/10.24114/jbio.v8i2.36656>
- Valencia-Arredondo JA, Hernández-Bolio GI, Cerón-Montes GI, Castro-Muñoz R, Yáñez-Fernández J. 2020. Enhanced process integration for the extraction, concentration and purification of di-acylated cyanidin from red cabbage. *Separation and Purification Technology* 238: 116492. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116492>
- Xu F, Zheng Y, Yang Z, Cao S, Shao X, Wang H. 2014. Domestic cooking methods affect the nutritional quality of red cabbage. *Food chemistry* 161: 162-167. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.025>
- Zampedri CA, Zampedri PA, Scattolaro O, Zapata LM, Castagnini JM. 2018. Evaluación de la digestión in vitro de compuestos bioactivos de arándanos. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 29: 285-295.