



Antocianinas en *Solanum tuberosum*: Una revisión

Anthocyanins in *Solanum tuberosum*: A review

Fernández, R. ^{a, b*}, Lizana, X.C. ^b

^a Escuela de Graduados, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

^b Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19.08.2019

Accepted 30.04.2020

Keywords:

Solanum tuberosum

Anthocyanins

Anthocyanidins

Antioxidant activity

Review Article,

Crop Science

*Corresponding author:

Rodrigo Fernández

E-mail address:

rodrigo.fernandez.0090@gmail.com

ABSTRACT

Anthocyanins are positively charged molecules of plant origin belonging to the flavonoid group, found in various pigmented varieties of *Solanum tuberosum*. The 6 most common anthocyanins found in potatoes are derivatives of pelargonidin, malvidin, petunidin, delphinidin, cyanidin and peonidin, in different concentrations. The distribution of anthocyanins in tubers is not uniform but differs between the skin and flesh, and it is associated with the distribution and intensity of colour. The anthocyanin content and antioxidant activity in *Solanum tuberosum* may vary with the genotype, environmental conditions, storage and the way of cooking the tubers, such as steaming or frying. Various properties of anthocyanins that are beneficial for humans have been studied, such as antioxidant, antitumor and antiviral properties. Several studies have shown that anthocyanins activate antioxidant systems in the liver, prevent the growth of colon cancer tumour cells, among other cancers.

RESUMEN

Las antocianinas son moléculas de origen vegetal cargadas positivamente pertenecientes al grupo de los flavonoides, presentes en diversas variedades pigmentadas de *Solanum tuberosum*. Las 6 antocianinas más comunes en papa son derivadas de la pelargonidina, malvidina, petunidina, delfinidina, cianidina y peonidina, en diferentes concentraciones. La distribución de las antocianinas en los tubérculos no es uniforme, sino que difiere entre la piel y la pulpa y se asocia con la distribución e intensidad del color. El contenido de antocianinas y la actividad antioxidante en *Solanum tuberosum*, puede variar con el genotipo, las condiciones ambientales, el almacenaje y tipo de cocción del tubérculo, como vapor o fritura. Se han estudiado diversas propiedades benéficas de las antocianinas para el ser humano, como propiedades antioxidantes, antitumorales y antivirales. Varios estudios han demostrado que las antocianinas activan los sistemas antioxidantes en el hígado, previenen el crecimiento de células tumorales de cáncer de colon, entre otros cánceres.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, antocianinas, antocianidinas, actividad antioxidante.

INTRODUCCION

Las antocianinas (del griego άνθος (anthos): 'flor' + κυανός (kyáneos): 'azul') son pigmentos hidrosolubles que se hallan en las vacuolas de las células vegetales y que otorgan el color rojo, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos (Wagner, 1982). El término antocianina fue propuesto en 1835 por el farmacéutico alemán Ludwig Clamor Marquart (1804-1881) para describir el pigmento azul de la col lombarda (*Brassica oleracea*). No obstante, las antocianinas no sólo incluyen a los pigmentos azules de las plantas sino también a los rojos y violetas (Ikan, 1991). Las antocianinas pue-

den confundirse con los carotenoides, que también le dan color a las flores y hojas, pero a diferencia de las antocianinas, estos no son solubles en agua, sino que están adosados a las proteínas de los cloroplastos. Los carotenoides dan colores rojo-anaranjados o amarillos, mientras que las antocianinas dan un abanico de colores. Por ejemplo, la malvidina da color purpúreo, las flavonas dan marfil o amarillo, muy frecuente en las hojas de *Agave*, *Erythrina indica*, *Pandanus* y *Sansevieria*; la delfinidina, azul; la cianidina, violeta; la pelargonidina, rojo y salmón como en *Pelargonium*, *Dahlia*, o *Papaver* (Jaakola *et al.*, 2002). Un factor que contribuye a la variedad de colores en flores, hojas y

frutas es la coexistencia de varias antocianinas en un mismo tejido, por ejemplo, en las flores de la malva real (*Althaea rosea*) se puede encontrar malvidina y delphinidina (Lawrence *et al.*, 1939). Las antocianinas son un grupo de pigmentos polifenólicos que se encuentran ubicuamente en el reino vegetal. En las plantas, las antocianinas sirven para atraer polinizadores y dispersar semillas, pero además están relacionadas con la protección contra diversos estreses abióticos y bióticos. Hay suficiente evidencia de que las antocianinas presentes en diversas especies vegetales tienen propiedades benéficas para la salud, contrarrestando los efectos de diversas enfermedades degenerativas. Por lo anterior el metabolismo obtener plantas o alimentos derivados de ellas con altas concentraciones de antocianinas es un objetivo interesante tanto para los productores, mejoradores e investigadores. Las antocianinas se encuentran en muchas frutas de colores rojos, morados o azules como oscuras (como la frambuesa azul y negra, zarzamora, cereza, ciruela, mora azul, uva azul y negra) y muchas verduras como las betarragas, acelgas, repollo y cebollas moradas, la berenjena, entre otras (González-Flores *et al.*, 2011). El color de las antocianinas está dado por los grupos hidroxilos de los anillos fenólicos y el benzopirilio y se modifica con el pH; en medio ácido (con un pH menor a 5) toma coloraciones rojizas, mientras que en un medio alcalino (con pH mayor a 7) adquiere coloración púrpura.

Estas moléculas también se encuentran en especies agrícolas fundamentales en la seguridad alimentaria como trigo (*Triticum aestivum*), donde existen variedades especiales de color púrpura y papa (*Solanum tuberosum*), especialmente en las variedades nativas coloreadas. El desarrollo de variedades con alta concentración de estos compuestos en cultivos de alto consumo como los mencionados, es una vía para promover la salud en la población. En esta revisión se entregará información sobre las características y funciones de las antocianinas encontradas en la especie domesticada *Solanum tuberosum*, así como sus beneficios en la salud humana.

Estructura química y formas de antocianinas en papas

Los compuestos fenólicos son sustancias que poseen un anillo aromático, un benceno, con uno o más grupos hidroxilos incluyendo derivados funcionales (ésteres, metil ésteres, glicósidos, etc.). Estos compuestos se pueden agrupar en diferentes clases dependiendo de su estructura, como son; fenoles, ácidos fenólicos, ácidos fenil acéticos, ácidos cinámicos, cumarinas, isocumarinas, cromonoles, lignanos, neolignanos, taninos y flavonoides (Martínez *et al.*, 2000). Existen diversos patrones de moléculas de flavonoi-

des, como las flavonas, flavonoles, flavanones, flavanoles, antocianinas, isoflavonas y chalconas (Andersen *et al.*, 2006). Las antocianinas se componen de una cadena principal de antocianidinas con conjugados de azúcares y grupos acilos (Stommel *et al.*, 2009). Las antocianidinas están compuestas por dos anillos aromáticos bencénicos separados por un heterociclo oxigenado (Tanaka, 2008). Dentro de los fenoles, las antocianidinas tienen una mayor actividad antioxidante, debido a que en su estructura poseen un átomo de oxígeno cargado positivamente (Figura 1), lo cual permite neutralizar con mayor eficacia las especies reactivas del oxígeno (ROS) (Kong *et al.*, 2003).

A lo largo de la amplia gama de cultivares coloreados de papa, se han identificado las seis antocianidinas más comunes. En tubérculos de papa roja, pelargonidina-3-(p-coumaroilrutinosido)-5-glucósido es la principal antocianina presente, mientras que peonidina-3-(p-coumaroilrutinosido)-5-glucósido y pelargonidina-3-(trans-feruloilo-rutinósido)-5-glucósido se encuentran en bajas cantidades (Lewis *et al.*, 1998; Naito *et al.*, 1998). En tubérculos de papa morada, la petunidina-3-(p-coumaroilrutinosido)-5-glucósido es la antocianina predominante. Además, se han encontrado 3-(p-coumaroilrutinosido)-5-glucósidos de malvidina, peonidina y delphinidina en diferentes variedades de papa morada. Algunas antocianinas como Pelargonidina, Cianidina y Peonidina se encuentran solamente en papas y no en otras especies de la familia de las solanáceas (Cuadro 1).

La profundización del color debido a las antocianinas ha sido fuertemente asociada con mayores niveles de glucósidos de malvidina (Lewis *et al.*, 1998; Lachman *et al.*, 2012; Jiang *et al.*, 2016). Por otra parte, Lachman *et al.* (2009) encontraron que los tubérculos de papa de cv. British Columbia Blue contenía casi exclusivamente derivados de cianidina. Liu *et al.* (2018a) determinaron a través de HPLC y espectrometría de masa, que la principal antocianina presente

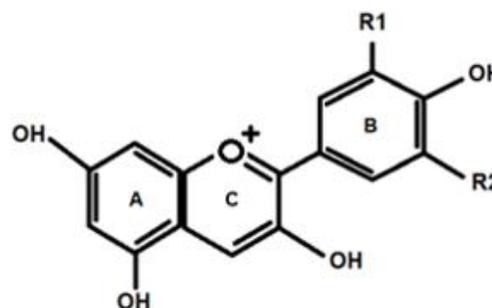


Figura 1. Estructura química general de las antocianidinas (elaboración propia)

Figure 1. General chemical structure of anthocyanidins (Authors' own elaboration).

en un genotipo silvestre de color morado (SD92) fue petunidina-3-O-glucósido, mientras que en un mutante de papa de color rojo (SD140), fue pelargonidina-3-O-glucósido. Estos estudios revelaron, además, que la disminución de la expresión de cofactores junto con la expresión de factores de transcripción de las familias bZIP, MSD y MYB provocaron una transformación de petunidina a pelargonidina, en los genotipos SD92 y SD140.

Variación en la concentración de antocianinas

La distribución de las antocianinas en papa no es uniforme en piel y pulpa y está estrechamente asociada con la coloración y distribución del color en el tubérculo. Especialmente las papas nativas poseen diferentes patrones de coloración e intensidad en la piel y pulpa que se relacionarían con diferente concentración y tipo de antocianinas (Figura 2). En 9 genotipos de *Solanum tuberosum* spp. *andigena*, de piel morada y

roja y pulpa amarilla se midió el contenido de antocianinas totales, ácidos fenólicos, flavonoides y la actividad antioxidante. La mayor concentración de antocianinas totales, ácidos fenólicos, flavonoides y actividad antioxidante, se encontró en la piel de los tubérculos, cuyo color varió entre morado, rojo y rosado. Por el contrario, en la pulpa de 7 de los 9 genotipos estudiados, no se detectó la presencia de antocianinas totales, correspondiendo a aquellos de pulpa amarilla, crema o blanca (Valiñas *et al.*, 2017).

La concentración de antocianidinas en papas, también varía con la fenología de la planta. Šulc *et al.* (2017), determinaron que el contenido de antocianidinas en papas con pulpa sólida de color rojo y morado, fue mayor en tubérculos al inicio de su desarrollo (4-19 g PF de tubérculos; 98-119 días después de plantación (DDP)), encontrándose hasta 78 mg 100 g⁻¹ PF, dependiendo de la variedad, comparado con papas al final del ciclo del cultivo (175 DDP), donde el contenido de antocianidinas fue de 10-39 mg 100 g⁻¹ PF.

Cuadro 1. Antocianidinas más comunes en especies de la familia de las solanáceas (Fuente: Liu *et al.*, 2018b, traducido y adaptado; Información tomatillo del diablo (*Solanum nigrum*) obtenida de Wang *et al.*, 2017).

Table 1. Most common anthocyanidins in species of the Solanaceae family (Source: Liu *et al.*, 2018b, translated and adapted; information on tomatillo del diablo (*Solanum nigrum*) obtained from Wang *et al.*, 2017).

Antocianidinas	R1	R2	Pimienta	Berengena	Tomate	Papa	Tomatillo del diablo
Pelargonidina	H	H				x	
Cianidina	OH	H				x	x
Delfinidina	OH	OH	x	x	x	x	x
Peonidina	OCH ₃	H				x	
Petunidina	H	OCH ₃			x	x	x
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃			x	x	x

Fuente: Adaptado de Liu *et al.*, 2018b y Wang *et al.*, 2017.



Figura 2. Papas nativas de Chile con diferente coloración y distribución de color (Foto Banco de Germoplasma de papas Universidad Austral de Chile)

Figure 2. Chilean native potatoes with different colouration and colour distribution (Photo: Potato genebank, Universidad Austral de Chile).

Los factores ambientales también son determinantes en la concentración de antocianinas en los tubérculos. En el estudio de Šulc *et al.* (2017) la concentración de antocianidinas presentó una asociación moderada con la radiación solar global, pero no con la temperatura o precipitación. Reyes *et al.*, (2004) determinaron un aumento en la concentración de antocianinas y compuestos fenólicos en variedades de papa de pulpa roja y púrpura, cuando los tubérculos crecieron en altas intensidades de radiación, seguidas por bajas temperaturas. En otro estudio Jansen y Flamme (2006), determinaron una gran variación genotípica en el contenido de antocianinas de 27 cultivares de papa y 4 clones mejorados, pero no encontraron diferencias debidas a la dosis de fertilización (rango de 100-200 Kg ha⁻¹), el año o la localidad de plantación, ni el tiempo de almacenaje. Por el contrario, Hamouz *et al.*, (2018) encontraron diferencias en la concentración de antocianinas debidas a la localidad y el año. Los autores detectaron una concentración de antocianinas totales 1,24 veces mayor en localidades de climas fríos, respecto de aquellos más cálidos (1,6 °C más de temperatura en promedio en 3 temporadas) y mayor concentración en el año en donde hubo un estrés hídrico significativo. Además, también encontraron variación debida al almacenaje (4 °C por 6 meses), pero no hubo un único patrón entre genotipos, pues algunos aumentaron y otros redujeron su concentración.

Actividad antioxidante de las antocianinas

Numerosas investigaciones han indicado que la capacidad antioxidante de las antocianinas de papa está simultáneamente determinada por tres factores estructurales de las moléculas de antocianina: el grado de hidroxilación, los patrones de acilación y la glicosilación (Ishii *et al.*, 1996; Sadilova *et al.*, 2006). En primer lugar, la actividad antioxidante se relaciona positivamente con el número de grupos hidroxilo libres de las moléculas de antocianinas, especialmente las de las antocianidinas, lo que implica que la petunidina tiene mayores efectos antioxidantes en comparación con malvidina, peonidina o pelargonidina, respectivamente (Wang *et al.*, 1997; Hamouz *et al.*, 1999; Lachman *et al.*, 2000; Han *et al.*, 2006). La hidroxilación en el anillo B aumenta la capacidad antioxidante de las antocianinas (Pojer *et al.*, 2013). En segundo lugar, hay tres tipos de ácidos fenólicos que acilan antocianinas de papa y, de acuerdo con la frecuencia de aparición de mayor a menor, son ácido p-cumarico (que es un derivado de ácido cinámico), ácido ferúlico y ácido cafeico (Naito *et al.*, 1998; Rodríguez-Saona *et al.*, 1998; Eichhorn y Winterhalter, 2005; Lachman y Hamouz, 2005; Zhang *et al.*, 2009). Sin embargo, se encontró que la acilación frecuente de las antocianinas de papa es la que tiene ácidos cinámicos, lo que mejora en gran medida la

efectividad antioxidante total de las antocianinas (De Souza y De Giovani, 2004; Garcia-Alonso *et al.*, 2004). Finalmente, se confirmó que las antocianinas con propiedades antioxidantes, que poseen los tubérculos de papa coloreados, son principalmente los glucósidos de peonidina, petunidina, malvidina, etc. (Brown, 2004; Lachman y Hamouz, 2005) y que las sustituciones glucosídicas en la posición C3 o C5 de las antocianidinas (más unidades de azúcar en estas posiciones), reducen la actividad antioxidante de las antocianinas (Wang *et al.*, 1997; De Souza y De Giovani, 2004; Garcia-Alonso *et al.*, 2004). La acilación de restos glicosilo puede evitar en parte el efecto negativo de la glicosilación (Lachman y Hamouz, 2005).

La glicosilación reduce la capacidad de eliminación de radicales libres de las antocianinas en comparación con sus formas agliconas, al disminuir sus habilidades de donación de hidrógeno, quelación de metales y deslocalización de electrones (Zhao *et al.*, 2014).

En estudios en diversas especies vegetales, se ha correlacionado positivamente el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. En el caso de *Solanum tuberosum*, se demostró que el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante se correlacionó positivamente en papas nativas (Ah-hen *et al.*, 2012). En cuanto a las antocianinas, se ha analizado que la cocción y la fritura de las papas, influye en su composición y en su actividad antioxidante. Tian *et al.* (2016) demostraron que, entre los diferentes métodos de cocción probados en papas moradas, la cocción al vapor y calentamiento microondas, retenían la mayor cantidad de fitoquímicos, entre ellos antocianinas cuya concentración se correlacionó positivamente con la actividad antioxidante. En otra investigación, Ruiz *et al.* (2018) demostraron que el contenido de antocianinas en papas pigmentadas se redujo con la cocción al vapor o fritura, a diferencia de la concentración de fenoles totales, derivados de ácido hidroxicinámico (HCAD) y la capacidad antioxidante (determinadas en base al peso fresco). En este estudio, se determinó que la concentración de HCAD en chips de papas de pulpa coloreada, fue 10 veces mayor que la concentración de antocianinas, pero ambas estuvieron correlacionadas con la capacidad antioxidante ($r = 0,95$ y $r = 0,90$ respectivamente), lo que significa, que ambos grupos de compuestos, contribuyen significativamente a la actividad antioxidante de este alimento.

El contenido de antocianinas y la actividad antioxidante puede variar entre variedades de papas de colores distintos. Kita *et al.* (2015) compararon el contenido de antocianinas, fenoles y la actividad antioxidante en tubérculos de variedades de papa roja y morada almacenadas por 9 meses. El contenido de antocianinas en las variedades de pulpa morada varió entre 34 y 57 mg 100 g PS⁻¹, y en las de pulpa roja varió entre 16 y 36 mg 100 g PS⁻¹, valores considerados bajos, pero que coinciden con otros estudios en la República Checa. En

ambos tipos de variedades (moradas o rojas) el contenido de antocianinas se redujo casi a cero después de la elaboración de chips, lo cual ha sido atribuido a las altas temperatura de fritura y a la concentración de azúcares reductores de las papas crudas (Jiménez *et al.*, 2012). En cambio, el contenido de fenoles totales fue más alto y estable que las antocianinas. En las papas de color morado los fenoles totales se redujeron hasta un 60% con la fritura y en papas de color rojo solo hasta 20%, pero ambas mantuvieron similar capacidad antioxidante después de elaborados los chips.

Propiedades benéficas atribuidas a las antocianinas

Las antocianinas de *Solanum tuberosum* poseen un efecto protector en seres humanos de las lesiones debidas a agentes oxidantes y radicales libres (Hung *et al.*, 1997) y proporcionan diversos beneficios para la salud, como preservación de la salud prostática y prevención del cáncer. Las antocianinas de *Solanum tuberosum* pueden inhibir el crecimiento de la línea celular de la leucemia eritrocítica humana.

El efecto antioxidante de las antocianinas de papa ingeridas en la dieta puede deberse al hecho de que estos compuestos aumentan la actividad de las enzimas antioxidantes en seres humanos, como la enzima superóxido dismutasa (SOD) y la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px). Estas enzimas están presentes en humanos y ratones. Han *et al.* (2006) encontraron que la petunina (antocianina con un grupo acilo) de dos variedades de papa morada tiene funciones antioxidantes atribuidas a la eliminación de radicales libres de oxígeno e inhibición de la oxidación del ácido linoleico. Esto contribuyó a mejorar los potenciales antioxidantes en ratas y mejorar la expresión hepática de mRNA de enzimas antioxidantes de ratas (Mn-Superóxido dismutasa, Cu/Zn-Superóxido dismutasa y Glutatión peroxidasa). Han *et al.* (2007a) descubrieron además que la dieta de copos de papa violeta, modulaba las enzimas antioxidantes GSH reductasa hepática y la GSH S-transferasa y el estado oxidativo en el suero y el hígado de ratas alimentadas con una dieta rica en colesterol. Han *et al.* (2007b) también probó que los copos de papa roja (RPF) disminuyeron significativamente los niveles séricos de la sustancia reactiva al ácido tiobarbitúrico (TBARS) y aumentaron el nivel de mRNA de SOD hepática en ratas, sugiriendo que podría mejorar el sistema antioxidante endógeno potenciando el mRNA de SOD hepática. Por otra parte, Jiang *et al.*, (2016) investigaron el efecto de antocianinas extraídas de papas moradas, en ratas administradas con alcohol y pudieron observar que las antocianinas antagonizaron el desarrollo de daño oxidativo hepático y atenuaron el agotamiento de GSH y SOD.

Otro estudio determinó que antocianinas de papa

purpura, pelada ('Yunshite 035') y papa de piel y pulpa roja ('Yunshite 038') inhibieron notablemente el crecimiento de la línea celular K562 de la leucemia eritrocitaria humana, lo que sugiere la posibilidad de que puedan ser utilizados como nuevos agentes antileucémicos naturales (Xie *et al.*, 2003, 2004). También se ha demostrado que las antocianinas de *Solanum tuberosum* pueden detener la proliferación de células de cáncer de estómago al inducir su apoptosis. Hayashi *et al.*, (2006) encontraron que las antocianinas de la papa roja 'Inca Red' y la papa morada 'Inca Purple' indujeron apoptosis en cultivos de células de cáncer de estómago humano (línea celular KATO), porque dieron como resultado la aparición de cuerpos apoptóticos y fragmentaciones de ADN. Por otro lado, la alimentación con papa roja y púrpura al vapor suprimió la proliferación de cáncer de estómago de ratón en 46,2% y 38,5%, respectivamente y alimentándose con una solución al 1% de antocianinas de papa roja o púrpura con comida estándar en 47,6% y 38,1%, respectivamente, lo que indica su eficacia contra el cáncer de estómago (Hayashi *et al.*, 2006). Además, las antocianinas de *Solanum tuberosum* son citotóxicas para las células de cáncer de próstata. Reddivari *et al.* (2007) encontraron que las antocianinas de papa coloreada 'CO112F2-2' mostraron propiedades antiproliferativas potentes y aumentaron los niveles de p27 inhibidor de quinasa dependiente de ciclina en células PC-3 (andrógeno independiente) y de cáncer de próstata LNCaP (dependiente de andrógenos), lo que implica que al aumentar los niveles de p27, disminuye la división celular de las células cancerosas.

La fracción de antocianinas (FA) indujo apoptosis independiente de caspasa (CIA) en células PC-3 y tanto apoptosis dependiente de caspasa como independiente en células LNCaP. Reddivari *et al.* (2007) presumen que las actividades citotóxicas de la FA en las células cancerosas posiblemente fueron causadas por la activación de la CIA.

Las antocianinas de *Solanum tuberosum* pueden contener la actividad para combatir el cáncer de mama. Los resultados informados por Thompson *et al.* (2009) indicaron que, para el cáncer de mama de las ratas inducida por 1-metil-1-nitrosourea, las antocianinas de una variedad de papa roja 'Mountain Rose' condujeron a una reducción no solo en la incidencia de cáncer sino también en la multiplicidad de cáncer y la gran inhibición de la carcinogénesis podría estar relacionada con los efectos sinérgicos de las antocianinas y otros antioxidantes, por ejemplo, derivados del ácido clorogénico. Los resultados obtenidos por Charepalli *et al.* (2015) demostraron que las antocianinas de *Solanum tuberosum* púrpura suprimieron la proliferación e indujeron apoptosis en células madre de cáncer de colon, mejoraron la función de la proteína p53 como protectora del genoma y redujeron en número de criptas con β -catenina nuclear acumulada en células madre intestinales.

Respecto de la capacidad antiviral de las antociani-

nas, existen menos antecedentes. Hayashi *et al.* (2003) mostraron que las fracciones de antocianinas de papa de pulpa roja inactivaron tanto el virus de la influenza tipo A (IVA) como el virus de la influenza tipo B (IVB). La IC50 de la fracción de antocianina de papa de pulpa roja fue de 48 $\mu\text{g ml}^{-1}$ (IVA) y 54 $\mu\text{g ml}^{-1}$ (IVB), mientras que la IC50 de la fracción de pelanina fue de 107 $\mu\text{g ml}^{-1}$ (IVA) y 83 $\mu\text{g ml}^{-1}$ (IVB). En este estudio, la pelargonidina (aglicona de pelanina) mostró una mayor actividad antiviral contra el IVA y el IVB en comparación con la fracción de antocianinas totales de papa de pulpa roja, mientras que la actividad antiviral de la pelanina fue más baja.

CONCLUSIONES

Las antocianinas son un grupo de moléculas que se encuentran en diversos tipos de plantas domesticadas, entre ellas, en *Solanum tuberosum*. En los últimos años, se ha demostrado que las antocianinas presentes en papas pigmentadas poseen una alta actividad antioxidante, por ende, se les han atribuido propiedades benéficas para la salud, como propiedades anticancerígenas, hepatoprotectoras y antivirales. Dado que *Solanum tuberosum* es una de las especies más importantes en la alimentación mundial, puede hacer una alta contribución como fuente de antioxidantes en la dieta humana. Por lo anterior es de gran importancia avanzar en el conocimiento de las variables ambientales, de manejo, y procesamiento, que determinan la concentración de antocianinas que finalmente es ingerida por los consumidores. Adicionalmente, la selección de variedades con alto contenido de antocianinas y/o perfiles de antocianinas específicos, puede ser relevante para agregar valor a la producción de este cultivo.

REFERENCIAS

- Ah-Hen, K., Fuenzalida, C., Hess, S., Contreras, A., Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., 2012. Antioxidant capacity and total phenolic compounds of twelve selected potato landrace clones grown in southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72 (1), 3–9.
- Andersen, Ø.M., Markham, K.R., 2006. *Flavonoids Chemistry, Biochemistry and Applications*. In: Separation and Quantification of Flavonoids. Taylor e Francis, New York.
- Brown, C., Yang, C., Navarre, D., Culley, D., 2004. Carotenoid and anthocyanin concentrations and associated antioxidant values in high pigment potatoes. *American Journal of Potato Research* 81, 48–52.
- Charepalli, V., Reddivari, L., Radhakrishnan, S., Vadde, R., Agarwal, R., Vanamala, J., 2015. Anthocyanin-containing purple-fleshed potatoes suppress colon tumorigenesis via elimination of colon cancer stem cells. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 26, 1641–1649.
- De Souza, R.F.V., De Giovani, W.F., 2004. Antioxidant properties of complexes of flavonoids with metal ions. *Redox Report* 9, 97–104.
- Eichhorn, S., Winterhalter, P., 2005. Anthocyanins from pigmented potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Food Research International* 38, 943–948.
- García-Alonso, M., De Pascual-Teresa, S., Santos-Buelga, C., Rivas-Gonzalo, J., 2004. Evaluation of the antioxidant properties of fruits. *Food Chemistry* 84, 13–18.
- González-Flores, D., Velardo, B., Garrido, M., González-Gómez, D., Lozano, M., Ayuso, M.C., Barriga, C., Paredes, S.D., Rodríguez, A.B., 2011. Ingestion of Japanese plums (*Prunus salicina* Lindl. cv. Crimson Globe) increases the urinary 6-sulfatoxymelatonin and total antioxidant capacity levels in young, middle-aged and elderly humans: Nutritional and functional characterization of their content. *Journal of Food and Nutrition Research* 50 (4), 229–236.
- Hamouz, K., Lachman, J., Vokál, B., Pivec, V., 1999. Influence of environmental conditions and type of cultivation on the polyphenol and ascorbic acid content in potato tubers. *Rostlinná Výroba* 45 (7), 293–298.
- Hamouz K., Lachman J., Becka D., Pulkrabek J., 2018. Effect of growing conditions and storage on the total anthocyanin content in potatoes with coloured flesh. *Plant, Soil and Environment* 64 (9), 435–440.
- Han, K., Sekikawa, M., Shimada, K.I., Hashimoto, M., Hashimoto, N., Noda, T., Tanaka H., Fukushima, M., 2006. Anthocyanin-rich purple potato flake extract has antioxidant capacity and improves antioxidant potential in rats. *British Journal of Nutrition* 96, 1125–1133.
- Han, K.H., Matsumoto, A., Shimada, K., Sekikawa, M., Fukushima, M., 2007a. Effects of anthocyanin-rich purple potato flakes on antioxidant status in F344 rats fed a cholesterol-rich diet. *British Journal of Nutrition* 98, 914–921.
- Han, K., Shimada, K., Sekikawa, M., Fukushima, M., 2007b. Anthocyanin rich red potato flakes affect serum lipid peroxidation and hepatic SOD mRNA level in rats. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 71, 1356–1359.
- Hayashi, K., Mori, M., Knox, Y.M., Suzutan, T., Ogasawara, M., Yoshida, I., Hosokawa, K., Tsukui, A., Azuma, M., 2003. Anti influenza virus activity of a red-fleshed potato anthocyanin. *Food Science and Technology Research* 9, 242–244.
- Hayashi, K., Hibasami, H., Murakami, T., Terahara, N., Mori, M., Tsukui, A., 2006. Induction of apoptosis in cultured human stomach cancer cells by potato anthocyanins and its inhibitory effects on growth of stomach cancer in mice. *Food Science and Technology Research* 12, 22–26.
- Hung, C.Y., Murray, J.R., Ohmann, S.M., Tong, C.B.S., 1997. Anthocyanin accumulation during potato tuber development. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 122, 20–23.
- Ikan, R., 1991. *Natural products: a laboratory guide*. Academic Press, California.
- Ishii, G., Mori, M., Umemura, Y., 1996. Antioxidative activity and food chemical properties of anthocyanins from the colored tuber flesh of potatoes. *Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi* 48, 962–966.
- Jaakola, L., Määttä, K., Pirttilä, A.M., Törrönen, R., Kärenlampi, S., Hohtola, A., 2002. Expression of Genes Involved in Anthocyanin Biosynthesis in Relation to Anthocyanin, Proanthocyanidin, and Flavonol Levels during Bilberry Fruit Development. *Plant Physiology* 130, 729–739.

- Jansen, G., Flamme, W., 2006. Coloured potatoes (*Solanum tuberosum* L.) – anthocyanin content and tuber quality. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53, 1321–1331.
- Jiang, Z., Chen, C., Wang, J., Xie, W., Wang, M., Li, X., 2016. Purple potato (*Solanum tuberosum* L.) anthocyanins attenuate alcohol-induced hepatic injury by enhancing antioxidant defense. *Journal of Natural Medicines* 70, 45–53.
- Jiménez, N., Bohuon, P., Dornier, M., Bonazzi, C., Pérez, A.M., Vaillant, F., 2012. Effect of water activity on anthocyanin degradation and browning kinetics at high temperatures (100–140 °C). *Food Research International* 47, 106–115.
- Kita, A., Bakowska-Barczak, A., Lisinska, G., Hamouz, K., Kulakowska, K., 2015. Antioxidant activity and quality of red and purple flesh potato chips. *LWT - Food Science and Technology* 62, 525–531.
- Kong, J.M., Chia, L.S., Goh, N.K., Chia, T.F., Brouillard, R., 2003. Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry* 64, 923–933.
- Lachman, J., Hamouz, K., Orsák, M., Pivec, V., 2000. Potato tubers as a significant source of antioxidants in human nutrition. *Rostlinná Výroba* 46, 231–236.
- Lachman, J., Hamouz, K., 2005. Red and purple coloured potatoes as a significant antioxidant source in human nutrition - a review. *Plant, Soil and Environment* 51, 477–482.
- Lachman, J., Hamouz, K., Šulc, M., Orsák, M., Pivec, V., Hejtmánková, A., 2009. Cultivar differences of total anthocyanins and anthocyanidins in red and purple-fleshed potatoes and their relation to antioxidant activity. *Food Chemistry* 114, 836–843.
- Lachman, J., Hamouz, K., Orsak, M., Pivec, V., Hejtmankova, K., Pazderu, K., 2012. Impact of selected factors Cultivar, storage, cooking and baking on the content of anthocyanins in coloured-flesh potatoes. *Food Chemistry* 133, 1107–1116.
- Lawrence, W., Price J., Robinson G., Robinson R., 1939. The Distribution of Anthocyanins in Flowers, Fruits and Leaves. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 230 (567), 149–178.
- Lewis, C.E., Walker, J.R.L., Lancaster, J.E., Sutton, K.H., 1998. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. I: coloured cultivars of *Solanum tuberosum*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77, 45–57.
- Liu, F., Yang, Y., Gao, J., Ma, C., Bi, Y., 2018a. A comparative transcriptome analysis of a wild purple potato and its red mutant provides insight into the mechanism of anthocyanin transformation. *PLoS One* 13 (1), e0191406.
- Liu, Y., Tikunov, Y., Schouten, R., Marcelis, L., Visser, R., Bovy, A., 2018b. Anthocyanin Biosynthesis and Degradation Mechanisms in Solanaceous Vegetables: A Review. *Frontiers in Chemistry* 6, 52.
- Martinez, I., Periago, M., Ros, G., 2000. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 50 (1), 5–18
- Naito, K., Umemura, Y., Mori, M., Sumida, T., Okada, T., Takamatsu, N., 1998. Acylated pelargonidin glycosides from a red potato. *Phytochemistry* 47, 109–112.
- Pojer, E., Mattivi, F., Johnson, D., Stockley, C.S., 2013. The case for anthocyanin consumption to promote human health: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12, 483–508.
- Reddivari, L., Vanamala, J., Chintharlapalli, S., Safe S., Miller J., 2007. Anthocyanin fraction from potato extracts is cytotoxic to prostate cancer cells through activation of caspase-dependent and caspase independent pathways. *Carcinogenesis* 28, 2227–2235.
- Reyes, L.E., Miller, J.C., Cisneros-Zevallos, L., 2004. Environmental Conditions Influence the Content and Yield of Anthocyanins and Total Phenolics in Purple- and Red-flesh Potatoes during Tuber Development. *American Journal of Potato Research* 81, 187–193.
- Rodríguez-Saona, L.E., Giusti, M.M., Wrolstad, R.E., 1998. Anthocyanin pigment composition of red-fleshed potatoes. *Journal of Food Science* 63, 458–465.
- Ruiz, A., Aguilera, A., Ercoli, E., Parada, J., Winterhalter, P., Contreras, B., Cornejo, P., 2018. Effect of the frying process on the composition of hydroxycinnamic acid derivatives and antioxidant activity in flesh colored potatoes. *Food Chemistry* 268, 577–584.
- Sadilova, E., Stintzing, F.C., Carle, R., 2006. Anthocyanins, colour and antioxidant properties of eggplant (*Solanum melongena* L.) and violet pepper (*Capsicum annuum* L.) peel extracts. *Journal of Bioscience* 1, 527–535.
- Stommel, J.R., Lightbourn, G.J., Winkel, B.S., Griesbach, R.J., 2009. Transcription factor families regulate the Anthocyanin biosynthetic pathway in *Capsicum annuum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 134, 244–251.
- Šulc, M., Kotíková, Z., Paznotch, L., Pivec, V., Hamouz, K., Lachman, J., 2017. Changes in anthocyanidin levels during the maturation of color-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Food Chemistry* 237, 981–988.
- Tanaka Y., Ohmiya A., 2008. Seeing is believing engineering anthocyanin and carotenoid biosynthetic pathways. *Current Opinion in Biotechnology* 19, 190–197.
- Thompson, M.D., Thompson, H.J., McGinley, J.N., Neil, E.S., Rush, D.K., Holm, D.G., Stushnoff, C., 2009. Functional food characteristics of potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.): phytochemical composition and inhibition of 1-methyl-1-nitrosourea induced breast cancer in rats. *Journal of Food Composition and Analysis* 22 (6), 571–576.
- Tian, J., Chen, J., Chen, S., Chen, J., Liu, D., Ye X., 2016. Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes. *Food Chemistry* 197, 1264–1270.
- Valiñas, M., Lanteri, M., Have, A., Andeu, A., 2017. Chlorogenic acid, anthocyanin and flavan-3-ol biosynthesis in flesh and skin of Andean potato tubers (*Solanum tuberosum* subsp. *andigena*). *Food Chemistry* 229, 837–846.
- Wagner G. J., 1982. Cellular and Subcellular Location in Plant Metabolism, in: Creazy L, Hrazdina G. (Eds.), *Recent advances in Phytochemistry*. New York, Plenum Press, pp. 1–45.
- Wang, H., Cao, G., Prior, R.L., 1997. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45, 304–309.
- Wang, S., Chu, Z., Ren, M., Jia, R., Zhao, C., Fei, D., Su, H., Fan, X., Zhang, X., Li, Y., Wang, Y., Ding, X., 2017. Identification of Anthocyanin Composition and Functional Analysis of an

- Anthocyanin Activator in *Solanum nigrum* Fruits. *Molecules* 22 (6), 876.
- Xie, Q.H., Li, Y.X., Li, Z., Qing, C., Wang, L., Xie, S.Q., 2004. Antitumor activity of specialty potatoes. *Chinese Potato* 18, 213–214.
- Xie, Q.H., Li, Z., Li, Y.X., 2003. Multiple utilization of specialty potatoes. *Chinese Potato* 17, 362–363.
- Zhang, J., Zhao, C.L., Guo, H.C., 2009. Research advances in the molecular structures of the stem tuber anthocyanins of “colored potatoes”. *Natural Product Research & Development* 21 (4), 719–725.
- Zhao, C.L., Chen, Z.J., Bai, X.S., Ding, C., Long, T.J., Wei, F.G., 2014. Structure-activity relationships of anthocyanidin glycosylation. *Molecular Diversity* 18, 687–700.