



Anthocyanins as food colorants

Antocianinas como colorantes alimentarios

Martha Navid Mendoza-Rodríguez¹, Citlalli Castillo-Guevara², Rubén Díaz-Godínez³, Antonio Nieto-Camacho⁴, Daniel Méndez-Iturbide*⁵

¹Maestría en Biotecnología y Manejo de Recursos Naturales, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Ixtacuixtla, Tlaxcala, México.

²Laboratorio de Biodiversidad, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Ixtacuixtla, Tlaxcala, México.

³Laboratorio de Biotecnología, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Ixtacuixtla, Tlaxcala, México.

⁴Laboratorio de Pruebas de Actividad Biológica, Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

⁵Laboratorio de Investigación en Química de la Nutrición de la licenciatura en Nutrición, Facultad de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México.

*Email: danychem@yahoo.com.mx

<https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.1.101>

ABSTRACT

Anthocyanins are phenolic compounds that are present in nature in the form of pigments responsible for giving color to some flowers, fruits, vegetables and cereals, are considered secondary metabolites with biological activity and are currently a great option for the competitive replacement of synthetic dyes, Mainly because it is a source of antioxidants to which therapeutic and medicinal effects are attributed. In recent years the isolation of anthocyanins has been able to give color to beverages, yogurt, chewing gums and sweets, demonstrating that it is possible to replace natural dyes by artificial ones, so it is very important to know the biochemical aspects of these pigments.

Keywords: Anthocyanins, food colorants.

RESUMEN

Las antocianinas son compuestos fenólicos que están presentes en la naturaleza en forma de pigmentos encargados de dar color a algunas flores, frutas, vegetales y cereales, se consideran metabolitos secundarios con actividad biológica y actualmente son una gran opción para el remplazo competitivo de colorantes sintéticos, principalmente por ser una fuente de antioxidantes a la cual se le atribuyen efectos terapéuticos y medicinales. En los

últimos años el aislamiento de antocianinas ha logrado dar color a bebidas, yogurt, gomas de mascar y dulces, demostrando que es posible el remplazo de colorantes naturales por artificiales por lo que es de gran importancia conocer los aspectos bioquímicos de estos pigmentos.

Palabras clave: Antocianinas, colorantes naturales.

1. INTRODUCCIÓN

Las antocianinas son el principal grupo de pigmentos solubles en agua, siendo responsables de los colores rojos, azulados o violetas de algunos frutos, vegetales, flores y cereales. También se encuentran en otras partes de la planta como tallos, hojas y raíces (Brouillard, 1982) en donde se acumulan en las vacuolas de las células epidérmicas o subepidérmicas (Wagner, 1982). Las antocianinas se consideran metabolitos secundarios de las plantas y tienen diferentes funciones como son la percepción visible para la atracción de animales con el propósito de polinización y dispersión de semillas, (Schaefer *et al.*, 2004), protección contra la radiación ultravioleta (Markham, 1988), contaminación microbiana y resistencia contra plagas (Winkel, 2001).

Desde el punto de vista químico, pertenecen a la familia de los flavonoides que forman parte de un grupo aún mayor de compuestos conocidos como polifenoles. Su estructura está dada por una molécula de antocianidina que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace β -glucosídico, la estructura química básica de esta aglicona es el ion flavilio, también llamado 2-fenil-benzopirilio, que consta de dos anillos aromáticos; un anillo benzopirilio (A) y otro fenólico (B) unidos por una cadena de tres carbonos ver figura 1, variaciones estructurales en el anillo (B) derivan en 6 antocianidinas muy conocidas y con mayor presencia en plantas. Si además de la presencia de un azúcar en la molécula existe un radical acilo, entonces son antocianinas aciladas.

Las antocianinas tienen propiedades farmacológicas y terapéuticas (Astrid, 2008), las cuales están relacionadas con su capacidad antioxidante (He & Guisti, 2010), por lo que son de gran interés nutrimental (Stintzing & Carle 2004) y medicinal debido a sus potentes efectos protectores sobre la salud humana.

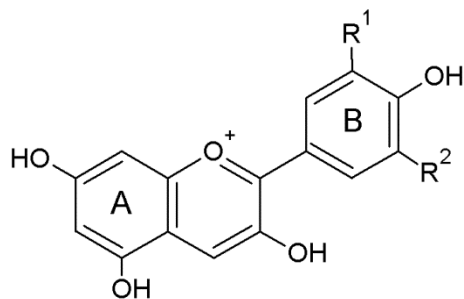


Fig. 1. Molécula de antocianina.

2. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS ANTOCIANINAS

Los factores que caracterizan las diferencias químicas de las diferentes antocianinas reportadas son, el número de grupos hidroxilos de la molécula, el grado de metilación de estos grupos hidroxilos, la naturaleza y el número de azúcares ligados a la molécula, la posición del enlace (Guisti & Wrolstad 2003) y el número de ácidos alifáticos o aromáticos unidos a un azúcar en la molécula.

Cuando en las antocianinas, se sustituye el grupo hidroxilo de la posición 3 con una molécula de azúcar se conoce como derivado sustituido 3-glucósido y con la sustitución del hidroxilo en la posición 3 y 5 se conoce como el derivado sustituido 3,5-diglucósido. Generalmente las estructuras 5-glicosido de la molécula, se degradan más fácilmente que las 3-glicosidicas (Stintzing & Carle 2004). Los azúcares más comunes en la molécula son arabinosa, xilosa D-glucosa, galactosa, ramnosa rutinosa, soforosa y gentobiosa (Aguilera *et al.*, 2011), la presencia de estos azúcares le da una mayor solubilidad y estabilidad a la molécula.

Otra variación presente en la estructura de las antocianinas es la acilación de los residuos de azúcares de la molécula con ácidos orgánicos. Los cuales pueden ser alifáticos como: ácido malónico, ácido acético, ácido málico, ácido succínico u oxálico; o ácidos aromáticos como: ácido *p*-cumárico, ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido sináptico, ácido gálico, o ácido *p*-hidroxibenzoico. (Stintzing *et al.*, 2002). Por lo que las características y la presencia de sustituyentes químicos en la estructura definirán el color y la resistencia que presenten al interactuar con diferentes factores que pueden ser causantes de desestabilizar la molécula.

Las hidroxilaciones y metilaciones presentes en el anillo (B) de la molécula generan a la cianidina, pelargonidina, peonidina, delfinidina, petunidina y malvidina, que son las seis antocianidinas más importantes (Kong *et al.*, 2003). Las tres antocianidinas no metiladas (cianidina delfinidina y la pelargonidina), son las más extendidas en la naturaleza.

2.1. Cianidina

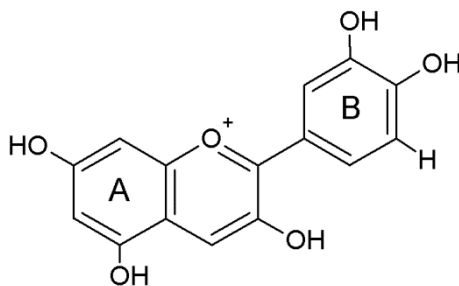


Fig. 2. Estructura química de la cianidina.

Es la más extendida en la naturaleza, está presente en 80% de hojas pigmentadas, 69% de frutas y 50% de flores (Ghosh & Konishi 2007). Su fórmula empírica es: $C_{15}H_{11}ClO_6$, con un peso molecular reportado por (Guerra & Ortega 2006) de 287.244 g/mol. Presenta en su estructura química un sustituyente hidroxilo y un hidrogeno. Está presente en algunos frutos como: arándanos (Kahkonen *et al.*, 2003), Aronia (Slimestad *et al.*, 2005; Malik *et al.*, 2003),

Bayas de saúco (Kaack & Austed 1998), cerezas (Wang *et al.*, 1997; Gao & Mazza 1994), ciruelas (Franke *et al.*, 2004), frambuesas (De Ancos *et al.*, 1999; (Mullen *et al.*, 2002), fresas, (Wang & Lin 2003), grosellas (Maatta *et al.*, 2003; Iversen, 1999), higos (Aguilera *et al.*, 2009) manzanas (Arabbi *et al.*, 2004), moras (Fan & Wrolstad 2005; Gao & Mazza 1994), peras (Harnly *et al.*, 2006), uvas rojas (Revilla *et al.*, 1998; Provenzi *et al.*, 2006), zanahorias negras (Kirca *et al.*, 2007), vegetales como: cebolla roja (Ferrerres *et al.*, 1996; Gennaro *et al.*, 2002), col de lombarda (Arapitsas *et al.*, 2008; Wu & Prior 2005), lechuga roja (Harnly *et al.*, 2006), rábano (Harnly *et al.*, 2006), y en leguminosas como el frijol rojos (Wu *et al.*, 2006).

2.2. Delfinidina

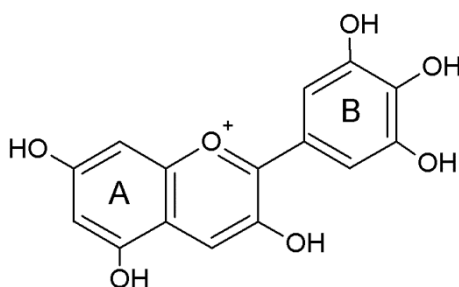


Fig. 3. Estructura química de la delfinidina.

Ha sido reportada con la formula empírica $C_{15} H_{11} ClO_7$, su peso molecular reportado es 338.7 g/mol (Guerra & Ortega 2006). La delfinidina tiene dos sustituyentes hidroxilo en su estructura los que le dan la característica de color azul. Se encuentra en arándanos (Kahkonen *et al.*, 2003), berenjenas (Franke *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2006) frambuesas (De Ancos *et al.*, 1999; (Mullen *et al.*, 2002), fresas, (Wang & Lin 2002), grosellas (Maatta *et al.*, 2003; Iversen, 1999), moras (Fan & Wrolstad 2005; Gao & Mazza 1994), platanos (Harnly *et al.*, 2006), uvas rojas (Bobeica *et al.*, 2015; Provenzi *et al.*, 2006), cebolla roja (Ferrerres *et al.*, 1996; Gennaro *et al.*, 2002) y col de lombarda (Arapitsas *et al.*, 2008; Wu & Prior 2005).

2.3 Pelargonidina

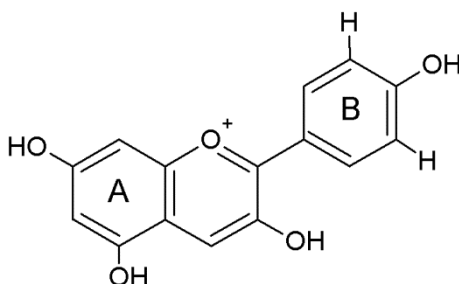


Fig. 4. Estructura química de la pelargonidina.

La estructura química de la pelargonidina presenta dos sustituyentes hidrogeno y estas características la hacen responsable del color rojo. Fleischhut *et al.*, 2006 la reportaron como la antocianidina más estable. Es representada con una formula empírica $C_{15} H_{11} ClO_5$, y tiene un peso molecular de 306.7 g/mol (Guerra & Ortega 2006). Se encuentra en Aronia

(Slimestad *et al.*, 2005; Malik *et al.*, 2003), Bayas de saúco (Kaack & Austed 1998), cerezas (Wang *et al.*, 1997; Gao & Mazza 1994), frambuesas (De Ancos *et al.*, 1999; (Mullen *et al.*, 2002), fresas, (Wang & Lin 2003; Mullen *et al.*, 2008), el frijol rojos (Lin *et al.*, 2008; Wu *et al.* 2006), grosellas (Maatta *et al.*, 2003; Iversen, 1999), moras (Fan & Wrolstad 2005; Gao & Mazza 1994), patatas (Giusti & Wrolstad 2003), rábanos (Harnly *et al.*, 2006), y uvas (Revilla *et al.*, 1998; Franke *et al.*, 2004).

2.4. Peonidina

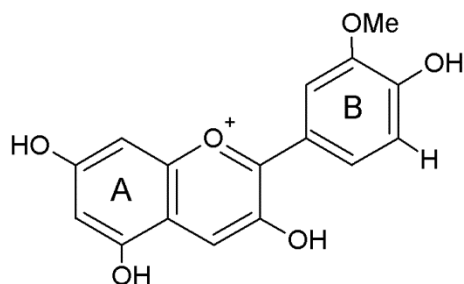


Fig. 5. Estructura química de la peonidina.

Es representada con la fórmula empírica $C_{16}H_{13}ClO_6$, su peso molecular reportado es 336.73 g/mol (Guerra & Ortega 2006). Se encuentra en alimentos como arándanos (Wu *et al.*, 2006; Harnly *et al.*, 2006), cebollas rojas (Arabbi *et al.*, 2004; Gennaro *et al.*, 2002), cerezas (Harnly *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2006), grosella negra (Kahkonen *et al.*, 2003; Maatta *et al.*, 2003; Wu *et al.*, 2004).

2.5 Petunidina

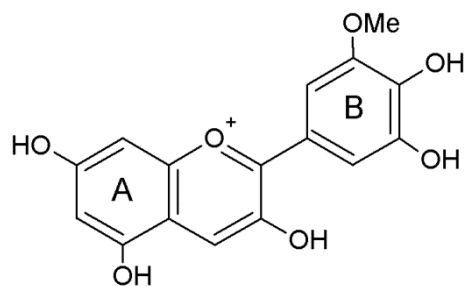


Fig. 6. Estructura química de la petunidina.

Tiene una fórmula empírica $C_{16}H_{13}ClO_7$ y un peso molecular de 352,74 g/mol. (Guerra & Ortega 2006). Está presente en Arándanos (Kahkonen *et al.*, 2003), grosella negra (Kahkonen *et al.*, 2003; Maatta *et al.*, 2003; Wu *et al.*, 2004), mora azul (Franke *et al.*, 2004), uvas rojas (Bobeica *et al.*, 2015; Provenzi *et al.*, 2006).

2.6 Malvidina

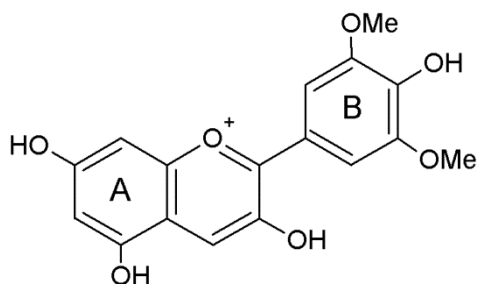


Fig.7. Estructura química de la malvidina.

Fórmula empírica: $C_{17}H_{15}ClO_7$, Peso molecular: 366.75 g/mol. (Guerra & Ortega 2006). Está presente en arándanos (Kahkonen *et al.*, 2003), frambuesas (De Ancos *et al.*, 1999; (Mullen *et al.*, 2002), moras (Fan & Wrolstad 2005; Gao & Mazza 1994) y uvas (Revilla *et al.*, 1998; Franke *et al.*, 2004).

3. FACTORES QUE DETERMINAN EL COLOR Y LA ESTABILIDAD

Factores como la estructura química, pH (Cevallos & Cisneros 2004), temperatura (Kirca & Cameroglu 2003), la luz, la presencia de oxígeno y ácido ascórbico (Starr & Francis 1968; Shrikhande & Francis 1974), concentración y actividad de agua de la matriz del sistema biológico, iones metálicos, proteínas y azúcares son factores que tienen impacto en la estabilidad de las antocianinas (Podsdek *et al.*, 2014).

El pH ácido es imprescindible para la estabilidad y color de las antocianinas. La acidez tiene un efecto protector sobre la molécula, a pH ácidos el catión flavilio se encuentra en su forma más estable representado con tonalidades rojas brillantes. Cuando el pH en soluciones acuosa se acerca a valores neutros ocurre una pérdida del protón y pasa a tener una estructura quinoidal formando una chalcona, cuya característica la describe como incolora y bastante inestable. Por lo que a diferentes pH las antocianinas presentan diversos colores. Generalmente la estabilidad de las antocianinas se atribuye a la presencia de grupos acilados. Diversas investigaciones indican que las antocianinas aciladas son más estables a los cambios de pH y temperatura que las no aciladas (Bassa & Francis 1987).

Se ha informado que la temperatura induce una destrucción lenta de los pigmentos (Delgado *et al.*, 2000). Cuando la temperatura aumenta, las antocianinas pueden transformarse en chalconas, cuya característica es un color marrón.

4. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LAS ANTOCIANINAS

Las antocianinas favorecen la reducción de la enfermedad coronaria, estudios en fracciones de antocianinas provenientes del vino han demostrado que estas son efectivas en atrapar especies reactivas de oxígeno, además de inhibir la oxidación de lipoproteínas y la agregación

de plaquetas (Ghiselli *et al.*, 1998), estos resultados sugieren que el bajo riesgo de la enfermedad coronaria en Francia se asocia con el alto consumo de vino tinto (Aguilera *et al.*, 2011). Hagiwara *et al.*, 2002 demostraron que el suministro en la dieta de papa morada y col morada a ratas causan la supresión de tumores. Se ha demostrado que el comportamiento cognitivo y las funciones neuronales de ratas de laboratorio se ven mejoradas al incluir en la dieta extractos de arándanos y fresas (Shukitt *et al.*, 2005). El consumo de antocianinas en la dieta ha resultado en una reducción de la inflamación y aumento de la agudeza visual en ratas con deficiencia ocular (Ohgami *et al.*, 2005). De acuerdo con (Tristán *et al.*, 2008) el suministro de cuatro variedades de especies silvestres de arándanos han sido consumidas tradicionalmente por tribus norteamericanas para la protección de enfermedades crónicas como la diabetes.

Actualmente se pueden encontrar extractos alimenticios ricos en antocianinas que han sido incorporados y desarrollados dentro de suplementos alimenticios, ejemplo de ello son los extractos de antocianinas de maíz morado que han sido incorporados al mercado como un suplemento dietético antioxidante con recomendaciones para mejorar la salud y promover la apariencia más joven de la piel (Shipp & Abdel 2010; Aguilera *et al.*, 2011).

5. EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS

Las antocianinas son moléculas polares, por lo que el método más usado para su extracción ha sido la maceración utilizando disolventes débilmente acidificados como etanol, metanol o acetona. (Amr & Al 2000; Awika *et al.*, 2001). Esta metodología implica la extracción de sustancias no fenólicas tales como azúcares, ácidos orgánicos y proteínas que requieren procesos posteriores de purificación (Catañeda *et al.*, 2009). El metanol resulta ser 20% más eficaz para la extracción de antocianinas (Lee *et al.*, 2004), Sin embargo, en la industria alimentaria se prefiere el etanol debido a la baja toxicidad comparada con la del metanol. En las extracciones con disolventes acidificados se ha reportado el uso del ácidos como el ácido acético, ácido fórmico, ácido tartárico, ácido trifluoroacético o ácido clorhídrico, pero es importante mencionar que se debe evitar manejar medios fuertemente ácidos por que las antocianinas aciladas pueden degradarse por reacción de hidrólisis, especialmente en aquellas con ácidos dicarboxílicos (García *et al.*, 1998) como ácido malónico, por lo que el uso de ácidos débiles como el ácido acético y el ácido fórmico es el recomendado, siendo posible extraer más y diferentes antocianinas (Kapasakalidis *et al.*, 2006).

La técnica más común empleada para la separación y cuantificación de antocianinas es la cromatografía líquida de alta resolución de fase inversa (RP-HPLC), esta técnica permite la separación, identificación y cuantificación simultánea de compuestos de antocianinas sin requerir una pureza excesiva de los extractos (Aguilera *et al.*, 2011). Las antocianinas aisladas son detectadas y cuantificadas a 525nm y su identificación está basada en los tiempos de retención correspondientes a espectros ultravioleta visibles (UV-Vis) comparados con los estándares puros de delfinidina-3-glucósido, delfinidina-3-rutinósido, cianidina-3-glucósido, cianidina-3-galactósido, cianidina-3-rutinósido, peonidina-3-glucósido, petunidina-3-glucósido, pelargonidina-3-glucósido y cloruro de cianidina que están comercialmente disponibles.

6. USO DE ANTOCIANINAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

En los últimos años la preocupación por la toxicidad de los colorantes sintéticos ha llevado a la búsqueda de colorantes naturales entre los que destacan las antocianinas. Las antocianinas han sido integradas a la dieta durante siglos por medio la de los vegetales, frutas y cereales brindando un impacto en la apariencia de los alimentos por lo que resultan ser atractivas para la industria alimentaria por sus características sensoriales las cuales pueden influenciar su comportamiento tecnológico durante el procesamiento de alimentos, siendo una alternativa potencial como un aditivo seguro y efectivo.

Algunas de las limitaciones que han restringido el uso de antocianinas como colorantes naturales en los sistemas alimentarios es su estabilidad relativamente baja a varias condiciones de procesamiento, formulación y almacenamiento que pueden impartir características de olor o sabor indeseable. Aunque en las últimas investigaciones que implican el desarrollo de colorantes que contienen antocianinas se ha demostrado que las moléculas de antocianinas con patrones de glicosilación (azúcares unidos a las antocianinas) y acilación (grupos alquil carbonilos) los cuales exhiben una notable estabilidad a cambios de pH, tratamientos térmicos y exposición a la luz.

La aplicación de las antocianinas es preferentemente usada en alimentos de acidez intermedia para asegurar la estabilidad del catión flavilio (Shipp & Abdel 2010) siendo utilizadas para dar color a bebidas, panes, helados y gomas de mascar que actualmente se encuentran en el mercado.

7. CONCLUSIÓN

Los avances de la tecnología de alimentos, han permitido que hoy en día se puedan aprovechar recursos naturales en beneficio de la salud, tal es el caso de las antocianinas que por su potente valor antioxidante y colorante son la mejor opción para el remplazo competitivo de los colorantes artificiales.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Aguilera-Ortíz M., Alanis-Guzmán, M. G., García-Díaz C. L. & Hernández-Brenes C. M. 2009. Caracterización y estabilidad de antocianinas de higo, variedad Mission. Universidad y Ciencia. 25(2):151-158.

- Aguilera-Ortíz M., Reza-Vargas M. C., Chew-Medinaveitia. & Meza Velázquez J. A. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas. *BIOtecnia*. 13(2):16-22.
- Arabbi P. R., Genovese M. I. & Lajolo F. M. 2004. Flavonoids in vegetable foods commonly consumed in Brazil and estimated ingestion by the Brazilian population. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(5):1124-1131.
- Arapitsas P., Sjoberg P. J. R. & Turner C. 2008. Characterisation of anthocyanins in red cabbage using high resolution liquid chromatography coupled with photodiode array detection and electrospray ionization-linear ion trap mass spectrometry. *Food Chemistry*. 109(1):219-226.
- Amr A. & Al-Tamimi E. 2007. Stability of the crude extracts of *Ranunculus asiaticus* anthocyanins and their use as food colourants. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(8):985-991.
- Astrid-Garzón G. 2008. Las antocianinas como colorants naturales y compuestos bioactivos: revision. *Acta Biológica Colombiana*. 13(3):27-36.
- Awika J. M., Rooney L. W. & Waniska R. D. 2005. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. *Food Chemistry*. 90(1):293-301.
- Bassa L. A. & Francis F. J. 1987. Stability of anthocyanins from sweet potatoes in a model beverage. *Journal of Food Science*. 52(6):1753-1754.
- Bobeica N., Poni Stefano., Hilbert G., Renaud C., Gomés E., Delrot S. & Dai Z. Differential responses of sugar, organic acids and anthocyanins to source-sink modulation in Cabernet Sauvignon and Sangiovese grapevines. *Frontiers in Plant Science*. 6:1-14
- Brouillard, R. 1982. Chemical structure of anthocyanins. *In: Anthocyanins Food Colors*. 1-38.
- Burns Kraft T. F., Dey M., Rogers R. B., Ribnicky D. M., Gipp D. M., Cefalu W. T., Raskin I. & Lila, M. A. 2008. Phytochemical composition and metabolic performance-enhancing activity of dietary berries traditionally used by native North Americans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(3):654-660.
- Castañeda-Ovando A., Pacheco-Hernández M. L., Páez-Hernández M. E., Rodríguez J.A & Galán-Vidal C. A. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*. 113(4):859-871.
- Cevallos-Casals B. A & Cisneros-Zevallos L. 2004. Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. *Food Chemistry*. 86(1):69-77.
- De Ancos B., Gonzalez E. & Cano M. P. 1999. Differentiation of raspberry varieties according to anthocyanin composition. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung*, A. 208(1):33-38.

Delgado-Vargas F., Jiménez A. R. & Paredes-López O. 2000. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains-characteristics, biosynthesis, processing and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 40:173-289.

Fan-Chiang H. J. & Wrolstad R. E. 2005. Anthocyanin pigment composition of blackberries. *Journal of Food Science*, 70(3):198-202.

Ferreres F., Gil M. I. & Tomás-Barberán F. A. 1996. Anthocyanins and flavonoids from shredded red onion and changes during storage in perforated films. *Food Research International*. 29(1):389-395

Fleschhut J., Kratzer F., Rechkemmer G. & Kulling S. E. 2006. Stability and biotransformation of various dietary anthocyanins *in vitro*. *European Journal of Nutrition*. 54(1):7-18.

Franke A. A., Custer L. J., Arakaki C. & Murphy S. P. 2004. Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*. 17(1):1-35.

Garcia-Vigera C., Zafrilla P. & Tomás-Barberán F.A. 1998. The use of acetone as an extraction solvent for anthocyanins from strawberry fruit. *Phytochemical Analysis*. 9(6):274-277.

Gao L. & Mazza G. 1994. Quantitation and distribution of simple and acylated anthocyanins and other phenolics in blueberries. *Journal of Food Science*. 59(5):1057-1059.

Gennaro L., Leonardi C., Esposito F., Salucci M., Maiani G., Quaglia G. & Fogliano V. 2002. Flavonoid and carbohydrate contents in tropea red onions: Effects of homelike peeling and storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(7):1904-1910.

Ghiselli A., Nardini M., Baldi A. & Scaccini C. 1998. Antioxidant activity of different phenolic fractions separated from an Italian red wine. *Journal of Agricultural And Food Chemistry*. 46(2):361-367

Ghosh D. & Konishi T. 2007. Anthocyanins and anthocyanin-rich extracts: role in diabetes and eye function. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 16(2):200-208.

Giusti M. M. & Wrolstad R. E. 2003. Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. *Biochemical Engineering Journal*. 14(3):217-225.

Guerra M. & Ortega G. 2006. Separación, caracterización estructural y cuantificación de antocianinas mediante métodos químico-físicos. Parte I. Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar. 40(2):35-44.

Harnly J. M., Doherty R. F., Beecher G. R., Holden, J. M., Haytowitz D. B., Bhagwat, S. & Gebhardt S. 2006. Flavonoid content of U.S fruits, vegetables, and nuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(26):9966-9977.

- He J. & Giusti M. M. 2010. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. *Annual Review of Food Science and Technology*. 1:163–187.
- Iversen C. K. 1999. Black currant nectar: Effect of processing and storage on anthocyanin and ascorbic acid content. *Journal of Food Science*. 64(1):37-41.
- Kaack K., & Austed T. 1998. Interaction of vitamin C and flavonoids in elderberry (*Sambucus nigra* L.) during juice processing. *Plant Foods for Human Nutrition*. 52(3):187-198.
- Kahkonen M. P., Heinamaki J., Ollilainen V. & Heinonen M. 2003. Berry anthocyanins: isolation, identification and antioxidant activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(14):1403-1411.
- Kapasakalidis P. G., Rastall R. A. & Gordon M. H. 2006. Extraction of polyphenols from processed black currant *Ribes nigrum* L. residues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(11):4016-4021.
- Kirca A. & Cameroglu B. 2003. Degradation kinetics of anthocyanins in blood orange juice and concentrate. *Food Chemistry*. 81(4):583-587.
- Kirca A., Ozkan M., & Cemeroglu B. 2007. Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. *Food Chemistry*. 101(1):212-218.
- Kong J. M., Chia L. S., Goh N. K., Chia T. F. & Brouillard R. 2003. Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*. 64(5):923-933.
- Lee J., Finn C. E. & Wrolstad R. E. 2004. Comparison of anthocyanin pigment and other phenolic compounds of *Vaccinium membranaceum* and *Vaccinium ovatum* native to the Pacific Northwest of North America. *Journal of Agricultural And Food Chemistry*. 52(23):7039-7044.
- Lin L. Z., H J. M., Pastor-Corrales M. S. & Luthria D. L. 2008. The polyphenolic profiles of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*. 107(1):399-410.
- Malik M., Zhao C., Schoene N., Guisti M. M., Moyer M. P. & Magnuson B. A. 2003. Anthocyanin-rich extract from *Aronia meloncarpa* E. Induces a cell cycle block in colon cancer but not normal colonic cells. *Nutrition and cancer*. 46(2):186-196
- Maatta K. R., Kamal-Eldin A. & Torronen A. R. 2003. High-performance liquid chromatography (HPLC) analysis of phenolic compounds in berries with diode array and electrospray ionization mass spectrometric (MS) detection: *Ribes species*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(23):6736-6744.
- Markham K. R. 1988. Distribution of flavonoids in the lower plants and its evolutionary significance. *In: The Flavonoids: Advances in Research since*. 427-468.

- Mullen W., Edwards C. A., Serafini M & Crozier A. 2008. Bioavailability of pelargonidin-3-*O*-glucoside and its metabolites in humans following the ingestion of strawberries with and without cream. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(3):713-719.
- Mullen W., Stewart A. J., Lean M. E. J., Gardner P., Duthie G. G. & Crozier A. 2002. Effect of freezing and storage on the phenolics, ellagitannins, flavonoids, and antioxidant capacity of red raspberries. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 50(18):5197-5201.
- Ohgami K., Ilieva I., Shiratori K., Koyama Y., Jin X. H., Yoshida K., Kase S., Kitaichi N., Suzuki Y., Tanaka T & Ohno S. 2005. Anti-inflammatory effects of aronia extract on rat endotoxin-induced uveitis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 46(1):275-281.
- 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*. 1-11
- Provenzi G., Falcão L. D., Fett R. & Luiz M. T. B. 2006. Estabilidade de antocianinas de uvas cabernet sauvignon com β -e γ -ciclodextrinas. *Brazilian Journal of Food Technology*, 9(3):165-170.
- Revilla E., Ryan J. M. & Martin-Ortega G. 1998. Comparison of several procedures used for the extraction of anthocyanins from red grapes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 46(11):4592-4597.
- Schaefer H. M., Schaefer V. & Levey D. J. 2004. How plant-animal interactions signal new insights in communication. *Trends Ecology Evolution*. 19(11):577–584.
- Shipp J. & Abdel-Aal E. S. M. 2010. Food applications and physiological effects of anthocyanins as functional food ingredients. *The Open Food Science Journal*. 4(1):7-22.
- Shrikhande A. J. & Francis F. J. 1974. Effect of flavonols on ascorbic acid and anthocyanin stability in model systems. *Journal of Food Science*. 39(5):904-906.
- Shukitt-Hale B., Galli R. L., Meterko V., Carey A., Bielinski D. F., McGhie T., & Joseph J. A. 2005. Dietary supplementation with fruit polyphenolics ameliorates age-related deficits in behavior and neuronal markers of inflammation and oxidative stress. *AGE*. 27(1):49-57.
- Slimestad R., Torskangerpoll K., Nateland H. S., Johannessen T. & Giske N. H. 2005. Flavonoids from black chokeberries, *Aronia melanocarpa*. *Journal of Food Composition and Analysis*. 18(1):61-68.
- Starr M. S. & Francis F. J. 1968. Oxygen and ascorbic acid effect on relative stability of 4 anthocyanin pigments in cranberry juice. *Food Technology*, 22(10):1293.
- Stintzing F. C. & Carle R. 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science*. 15(1):19-38.

Stintzing F.C., Stintzing A. S., Carle R., Frei B. & Wrolstad R. E. 2002. Color and antioxidant properties of cyanidin-based anthocyanin pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(21):6172-6181.

Wagner G. J. Cellular and subcellular location in plant metabolism. In: *Recent advances in Phytochemistry*. 16:1-45.

Wang H., Nair M. G., Iezzoni A. F., Strasburg G. M., Booren A. M. & Gray I. 1997. Quantification and characterization of anthocyanins in Balaton tart cherries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45(7):2556-2560.

Wang S. Y. & Lin H. S. 2003. Compost as a soil supplement increases the level of antioxidant compounds and oxygen radical absorbance capacity in strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(23):6844-6850.

Wang S. Y., Zheng W., Galleta G. 2002. Cultural system affects fruit quality and antioxidant capacity in strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(22):6534-6542.

Winkel-Shirley B. 2001. Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. *Plant Physiology*. 126(2):485-493.

Wu X., Beecher G. R., Holden J. M., Haytowitz D. B., Gebhardt, S. E. & Prior R. L. 2006. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*: 54(11):4069-4075.

Wu X., Gu L., Prior R. L. & McKay S. 2004. Characterization of anthocyanins and proanthocyanidins in some cultivars of *Ribes*, *Aronia*, and *Sambucus* and their antioxidant capacity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(26):7846-7856.

Wu X. & Prior R. L. 2005. Identification and characterization of anthocyanins by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry in common foods in the United States: vegetables, nuts, and grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(8):3101-3113.