

Betalaínas: importancia, presencia en vegetales y sus aplicaciones en la industria alimentaria

A. González-Ortíz* y J. A. Guerrero-Beltrán

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas Puebla

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir, C.P. 72810, San Andrés Cholula, Puebla, México.

RESUMEN

Las betalaínas son pigmentos nitrogenados solubles en agua que imparten colores, de amarillo a rojo, a los alimentos. Estos pigmentos están presentes de manera restringida en algunas familias de plantas relacionadas con el orden *Caryophyllales*. Las betalaínas pueden estar presentes en las semillas, frutos, flores, hojas, tallos y/o en las raíces de las plantas. También son importantes por poseer actividad antioxidante.

Actualmente, las betalaínas están siendo consideradas como una alternativa viable a los colorantes sintéticos, ya que el uso de éstos está cada vez más cuestionado por los consumidores. Los pigmentos extraídos del betabel son actualmente los más utilizados en la industria alimentaria como colorantes naturales, para dar coloración rojiza, mientras que otras fuentes de betalaínas que pueden dar una coloración similar, son desaprovechadas. El objetivo de esta revisión es mostrar la importancia de las betalaínas y su presencia en algunos alimentos, así como la aplicación que tienen en la industria de alimentos.

Palabras clave: betalaínas, vegetales, pigmentos.

ABSTRACT

Betalains are water-soluble nitrogen-pigments which provide colors in a range from yellow to red. These pigments are present in a very restricted way, and just a few plant families related with the order of *Caryophyllales* contain them. Betalains can be present in seeds, fruits, flowers, leaves, stems and/or roots of plants. Betalains, apart from providing coloration to the fruits and other plant parts, they are important because they have antioxidant activity.

Nowadays, betalains are considered an alternative over synthetic colorants, because the application of synthetic colorants is constantly criticized by the consumers. Currently, only beet-root pigments are used in the food industry to provide red color, while the use of other vegetables with similar pigments are not used. The objective of this review is to show the importance of betalains and their presence in some foods, as well as their application in the food industry.

Keywords: betalains, vegetables, pigments.

 Programa de Doctorado
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126
Dirección electrónica:
alfonso.gonzalezoz@udlap.mx
maria.barcenas@udlap.mx

Introducción

En la industria alimentaria los aditivos son muy utilizados para modificar las características de un alimento y mejorarlo. Los colorantes son un tipo de aditivos para otorgar o intensificar el color en un alimento. Éstos pueden ser de tipo natural (pigmentos) o sintético.

Los colorantes sintéticos son ampliamente utilizados, debido a que tienen ventajas al ser estables y estar estandarizados. Sin embargo, dado que algunas investigaciones, con resultados inconclusos, relacionan el consumo de colorantes sintéticos con ciertos efectos nocivos en la salud, los medios han llevado a los consumidores a pensar que los colorantes sintéticos son un problema y ha surgido la preocupación por evitar la ingesta de estos aditivos, lo cual ha dado lugar a considerar el uso de fuentes naturales de colorantes.

Los colorantes naturales provienen principalmente de vegetales, en particular aquellos de color amarillo, naranja o rojo. Las familias de plantas relacionadas con el orden *Carophyllales* presentan tonalidades rojas intensas, además de un contenido importante de compuestos antioxidantes. Estas propiedades son atribuidas principalmente al contenido de betalaínas.

La presente revisión se enfoca en las familias *Cactaceae* y *Amaranthaceae*, puesto que en algunas otras el contenido de betalaínas no es suficiente para considerarlas como fuentes de pigmentos por la industria alimentaria, y/o carecen de información taxonómica, y/o no existe información suficiente sobre ellas, reportada. Por otro lado, los géneros como *Hylocereus*, *Stenocereus*, *Opuntia*, *Beta* y *Amaranthus*, son cultivados y comercializados en México. Estos géneros, comprenden un rango de color que va del amarillo al rojo/violeta, debido a que presentan compuestos betalaínicos, y al poseer un alto contenido de éstos, representan un campo cuyo estudio es de interés. Actualmente, los pigmentos provenientes del género *Beta*, ya se adicionan a algunos alimentos, pero presentan algunas desventajas, por eso la importancia del conocimiento de otras fuentes de pigmentos provenientes de México.

Revisión bibliográfica

1. Pigmentos

En el mundo vegetal, se producen diferentes pigmentos solubles en aceite, como los carotenoides y las clorofilas, así como también los solubles en agua, tales como el ácido carmínico, las antocianinas y betalaínas. Los pigmentos actúan como una

señal de comunicación de los vegetales, a excepción del ácido carmínico, proveniente de un insecto. La coloración más notable se da en flores y frutos, de los cuales las plantas se aprovechan para atraer la atención de animales potencialmente polinizadores, que también puedan dispersar sus semillas (García, Gandía y Escribano, 2011).

Los carotenoides están ampliamente distribuidos entre el mundo vegetal, aunque también se pueden encontrar en bacterias, algas, hongos y animales. Son responsables de impartir colores amarillos, anaranjados y rojos. Sus dobles enlaces conjugados son los responsables de su coloración (Meléndez-Martínez, Vicario y Heredia, 2004). Por otro lado, las clorofilas son los pigmentos más abundantes en la naturaleza y otorgan una coloración verde. En el caso de los vegetales, las hojas pueden contener hasta 1 g/m² de estos pigmentos, aunque su concentración es muy variable (Manrique, 2003).

En cuanto a los pigmentos solubles en agua, el ácido carmínico es la materia prima para producir el pigmento color rojo, carmín, el cual se utiliza en las industrias alimentaria, textil y farmacéutica. Este colorante se obtiene a partir de las hembras de la cochinilla *Dactylopius coccus Costa*. El insecto es probablemente originario de Sudamérica; Perú es el principal productor mundial de cochinilla, pero su calidad no siempre cumple con los requerimientos del mercado en cuanto a uniformidad y concentración del ácido carmínico (Rodríguez et al., 2005). Las antocianinas representan el grupo más estudiado de pigmentos hidrosolubles; son responsables de impartir colores que abarcan desde el rojo hasta el azul en vegetales. Los precursores de estos pigmentos ya son conocidos, así como también los beneficios que otorgan a la salud, por sus propiedades antioxidantes (Garzón, 2008). Las betalaínas son compuestos que imparten una gama de colores de amarillo a rojo y actualmente se utilizan en la industria alimentaria para impartir color rojo. Este pigmento utilizado en la industria es derivado del betabel rojo (*Beta vulgaris*).

2. Generalidades e importancia de betalaínas

Las betalaínas son alcaloides derivados de la tirosina que se encuentran de manera restringida en el mundo vegetal. Se han identificado dos tipos diferentes de betalaínas: las betaxantinas, de color amarillo/naranja (λ_{max} aproximada: 470 nm), que son los productos de condensación del ácido betalámico y compuestos amino clasificados; y las betacianinas, de color rojo (λ_{max} aproximada: 536 nm), que se forman por la glicosilación y acilación de ciclo-Dopa (ciclo-dehidroxifenilalanina) (Ayala y Beltrán, 2007). En las figuras 1 y 2, se presentan ejemplos de betaxantinas y betacianinas, respectivamente. El sistema

de dobles enlaces conjugados del ácido betalámico es el responsable del color de estos pigmentos (García *et al.*, 2011). A la mayoría de las betalaínas naturales se les adjudica su nombre de acuerdo a la planta donde se han encontrado, al cual se ha añadido el sufijo cianina (de *kyanos*, -azul- en griego), para las betacianinas o xantina (de *xantos*, -amarillo- en griego), para las betaxantinas. Más de 50 moléculas diferentes de betacianinas y varias betaxantinas han sido aisladas e identificadas y a medida que los equipos analíticos mejoran, se van descubriendo nuevas moléculas (García *et al.*, 2011; Kugler, Stintzing y Carle, 2007; Wybraniec, Nowak-Wydra, Mitka, Kowalski y Mitzrahi, 2007).

Las betalaínas son susceptibles a factores ambientales tales como luz (Hughes y Smith, 2007), radiación UV (Tsurunaga

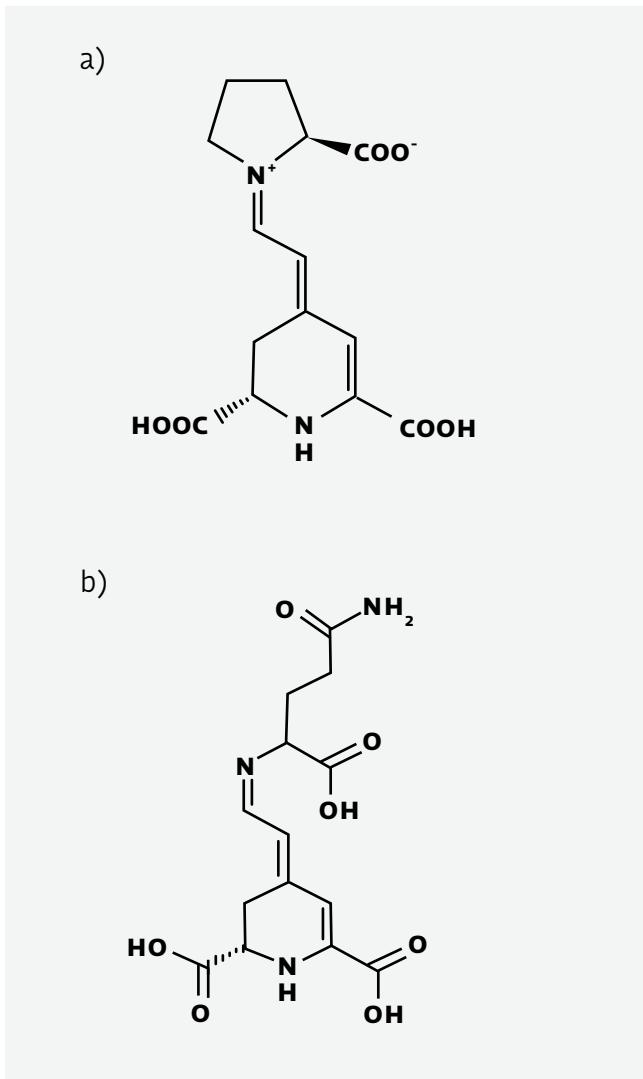


Fig. 1. Estructura química de indicaxantina (a) y vulgaxantina I (b), derivadas de betaxantina.

et al., 2013; Wang, Zhou, Sun, Li y Kawabata, 2012), concentración de sacarosa (Oh, Kim, Kim, J., Kwon y Lee, 2011), temperatura, salinidad (Chaves, Flexas y Pinheiro, 2009; Duarte, Santos, Marques, y Caçador, 2013), pH, oxígeno y actividad de agua (Cai, Sun y Corke, 2005). Por ejemplo, al calentar una solución de betanina se produce una reducción gradual del color rojo característico con la aparición de parcheamiento. Así mismo, las betalaínas presentan mayor estabilidad en sistemas con baja actividad de agua, ya que en éstos el agua se encuentra menos disponible para que ocurran reacciones químicas que las degraden. En general, las betalaínas son más estables a temperaturas inferiores a 25°C, valores de pH entre 3 y 7, y ausencia de luz, oxígeno y enzimas degradativas (García et al., 2011).

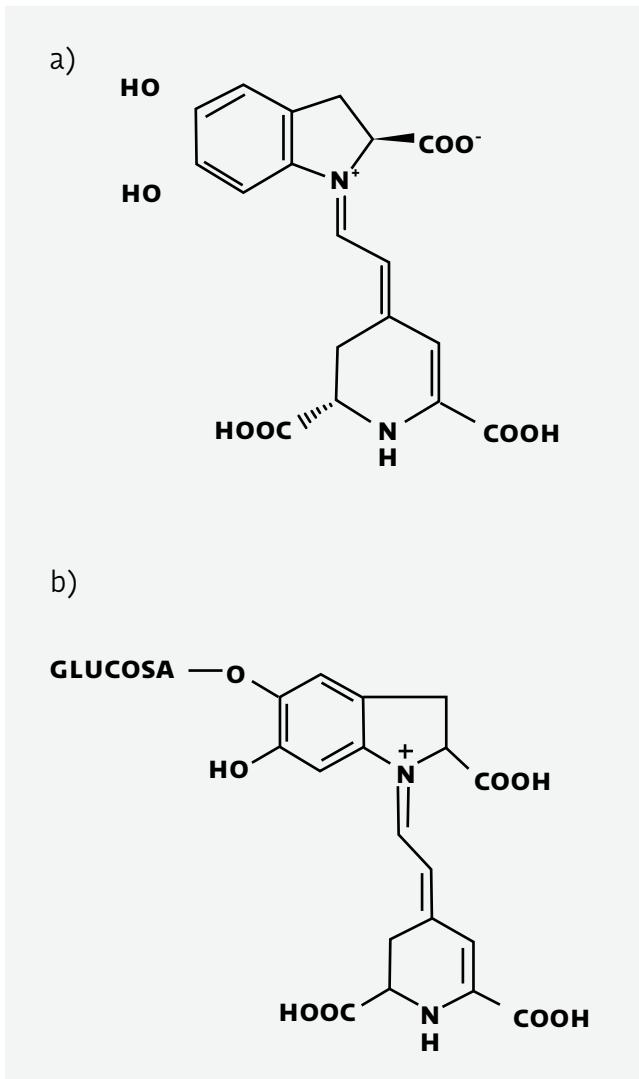


Fig. 2. Estructura química de betanidina (a) y betanina (b), derivadas de betacianina

En cuanto a las vías de degradación de las betalaínas, las principales son las siguientes:

- » Isomerización: la betanina se isomeraiza en el carbono C₁₅ a isobetanina, en condiciones ácidas, alcalinas y en tratamientos térmicos.
- » Desglicosilación: la molécula de glucosa puede separarse de la betanina bajo condiciones ácidas, altas temperaturas y presencia de β-glucosidasa, formando un compuesto de menor estabilidad, ya que es más susceptible a oxidarse.
- » Hidrólisis: se produce una ruptura hidrolítica del enlace aldmina, causada por tratamientos térmicos y en sistemas con pH mayor a 6. Este proceso disminuye la intensidad del color, debido a que se genera ácido betalámico (amarillo brillante) y ciclo-Dopa-5-O-B-glucósido (incoloro).
- » Descarboxilación: en las betacianinas puede ocurrir en los carbonos C₂, C₁₅ y C₁₇, mientras que en las betaxantinas en los carbonos C₁₁ y C₁₃. Cuando esta reacción ocurre en el carbono C₁₇, las características cambian y se genera un compuesto de coloración rojo-naranja (Vergara, 2013).

La actividad antioxidante de las betalaínas se atribuye a los grupos fenólicos y amino cílicos, presentes en su estructura, por lo cual son capaces de donar átomos de hidrógeno y/o electrones a radicales libres (Moreno, García y Gil, 2008). Clifford, Howatson, West y Stevenson (2015) también sugieren que esta capacidad antioxidante probablemente se deba a la gran capacidad de las betalaínas para donar electrones, así como a su habilidad de desactivar radicales altamente reactivos que atacan las células de la membrana. La actividad antioxidante de las betalaínas ha sido demostrada en diversos estudios, tanto en modelos químicos como biológicos. Se encontró que las betalaínas de betabel podían eliminar un 75% de radicales de aniones de superóxido, medidos usando espectroscopía electromagnética (Canadianovic-Brunet *et al.*, 2011). Probablemente, las betalaínas modulen el desbalance intrínseco entre las especies oxidantes y el sistema defensivo antioxidante del organismo y generen un ambiente celular favorable, para contrarrestar el estrés oxidativo (Esatbeyoglu *et al.*, 2014a). Esquivel, Stintzing y Carle (2007), mencionan que las betalaínas contienen estructuras de compuestos fenólicos y no fenólicos, los cuales son responsables de aumentar la capacidad antioxidante considerablemente. Además de la capacidad antioxidante de las betalaínas, éstas presentan una ventaja considerable, ya que su color es independiente del valor del pH (Esatbeyoglu, Wagner, Schini-Kerth y Rimbach, 2014b).

3. Betalaínas en vegetales

Las betalaínas son pigmentos que se encuentran restringidos a las familias de plantas del orden *Caryophyllales* y al género *Amanita* de los *Basidiomicetos* (García *et al.*, 2011; García-Cruz, Salinas-Moreno y Valle-Guadarrama, 2012). Ehrendorfer (1976) argumenta que la presencia de las betalaínas se dio como consecuencia de un evento evolutivo inusual en el que los ancestros de las plantas de familias de *Caryophyllales* evolucionaron en condiciones áridas y semiáridas y, al prevalecer la polinización por causa del viento, no fue necesario atraer a los polinizadores, esto causó que se detuviera la producción de las antocianinas. Posteriormente, se requirió nuevamente la producción de pigmentos y éstos regresaron en forma de betalaínas.

Entre los vegetales que producen compuestos betalaínicos, algunos los presentan en los órganos inmaduros, algunos en los maduros y otros durante toda su vida; además, su síntesis puede encontrarse restringida a los órganos reproductivos, como las flores o frutos, o pueden encontrarse tanto en estructuras vegetativas como reproductivas, como hojas y flores (Gengatharan, Dykes y Sim, 2015). Por ejemplo, en el género *Amaranthaceae*, las betalaínas se pueden encontrar tanto en hojas como en flores; en los géneros *Hylocereus*, *Stenocereus* y *Opuntia*, se pueden encontrar en los frutos; en el género *Beta*, en la raíz, y en el género *Rheum*, en el tallo.

Actualmente, la única fuente explotada de betalaínas para su uso como pigmento, es el betabel. Sin embargo, hay que considerar que éste sólo imparte colores de rojo a violeta, y en la industria también hay una necesidad por obtener un pigmento amarillo soluble en agua; por lo tanto, las betaxantinas son de interés. Otra fuente de betalaínas es la *Phytolacca americana* L., pero ha sido prohibida como pigmento en la industria alimentaria, debido a la presencia de saponinas y lecitinas tóxicas (Gengatharan *et al.*, 2015).

3.1. Amaranto

El amaranto (*Amaranthus tricolor* L.) es una planta cuya variedad de colores va de rojo a morado. El amaranto rojo y el verde son los dos tipos de amaranto mayormente cultivados. El amaranto podría considerarse como uno de los vegetales más importantes en los trópicos de África y Asia (Khandaker, Babar y Oba 2009). Esta planta genera gran cantidad de biomasa, la cual contiene un alto nivel de pigmentos provenientes de betalaínas (Cai *et al.*, 2005). En sus sectores verdes, se puede encontrar una mayor concentración de betaxantinas amarillentas; mientras que, en los sectores rojos de la planta, se

encuentran betacianinas de color violeta (Teng, Chen y Xiao, 2016). Las principales betacianinas presentes en *Amaranthus tricolor* son amarantina e isoamarantina. Biswas, Dey y Sen (2013) obtuvieron un total de 7.73 mg/100 g de betalaínas en la variedad *A. tricolor*. Por otro lado, Khandaker, et al. (2009) realizaron un estudio con siete distintos cultivares de amaranto (*Amaranthus tricolor L.*) y observaron que el tiempo en que se realiza la cosecha influye sobre la concentración de las betacianinas, ya que las plantas cosechadas a los veinte días después de la temporada de nevado tuvieron una concentración de betacianinas menor que las plantas cosechadas a los treinta días. Además, las variedades BARI-1 y Rocto joba, fueron las que presentaron un mayor contenido de betacianinas (44.7 mg/100 g). Chong et al. (2014) analizaron la variedad *A. betacyanins* y concluyeron que ésta tiene el potencial de ser utilizada como una fuente de estos pigmentos, debido a su contenido de betacianina, el cual fue de 62 mg/100 g.

3.2. Betabel

El betabel (*Beta vulgaris*) es uno de los alimentos con mayor concentración de betalaínas, siendo la betanina, la isobetanina y la betanidina las más abundantes (Guneser, 2016; García-Cruz et al. 2012; Slatnar, Stampar, Veberic y Jakopic, 2015). Además, se ha encontrado que existe un nivel de betalaínas diferente en la pulpa, cáscara y pecíolo de la fruta. Slatnar et al. (2015) estudiaron frutos de color amarillo y rojo, y en aquellos de color rojo encontraron que, del contenido total de betalaínas, la betanina representa el 64.31 a 69.11% en la cáscara, 0.67 a 1.02% en la pulpa y 0.47 a 0.61% en el pecíolo. En la cáscara se presenta un mayor contenido de betanina, comparado con las otras partes de la fruta. Entre los diferentes cultivares, se encontró que algunas betacianinas específicas se encuentran en mayor o menor concentración en hojas, pecíolos y pulpa, dependiendo del cultivar. Al encontrar estas variaciones, se hace la sugerencia de trabajar en conjunto con las diferentes partes del betabel, para la producción de pigmentos.

Por otro lado, Georgiev et al. (2010) encontraron que el contenido de betalaínas del betabel puede ser mayor a 39.76 µg/g, por lo que se considera una fuente excepcional de compuestos antioxidantes.

3.3. Pitaya

La pitaya roja (*Stenocereus griseus*) es una fruta producida por una planta de la familia de las cactáceas (Ochoa-Velasco y Guerrero-Beltrán, 2013). Es originaria de México, principalmente de las regiones áridas y semi-áridas del río Balsas y el Valle de

Tehuacán (García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno y Joaquín-Cruz, 2013). La fruta es una baya poliespermática de forma globosa u ovoide, con espinas; su pulpa puede ser de color amarillo-anaranjado, rojo o púrpura, color característico otorgado por las betalaínas. Dependiendo del color del fruto, ya sea con más tendencia hacia el amarillo o hacia el rojo, será la concentración de los compuestos betalaínicos; entre más rojo el fruto, más contenido de betacianinas y entre más amarillo, más contenido de betaxantinas (García-Cruz et al., 2012).

García-Cruz et al. (2012) reportan valores de 199.06 mg/100 g de muestra seca de betacianinas, 147.61 mg/100 g de muestra seca de betaxantinas y 347.30 mg/100 g de muestra seca de betalaínas totales, para pitaya roja; y 37.6 mg/100 g de muestra seca de betacianinas, 177.37 mg/100 g de muestra seca de betaxantinas y 215.04 mg/100 g de muestra seca de betalaínas totales, para pitaya naranja. Además, Rodríguez-Sánchez, Cruz y Barragán-Huerta (2016) reportan valores de betalaínas totales de 243.6 mg/100 g para pitaya amarilla, siendo las betaxantinas las responsables del 89% de las betalaínas. Por otro lado, Wu et al. (2006) reportan valores para betalaínas totales de 10.3 mg/100 g de pulpa, en pitaya roja, asimismo, que la cáscara de la pitaya roja, con un mayor contenido de betacianinas comparado con la pulpa, presenta una mayor actividad antioxidante. Al comparar los datos reportados por estos autores, se observan diferencias importantes, las cuales pueden deberse a las distintas procedencias y variedades de la fruta, así como al método de determinación implementado, tal y como muestran Pérez-Loredo, Hernández-De y Barragán-Huerta (2017), al encontrar diferentes concentraciones de betalaínas al aplicar diversos pretratamientos a la pulpa. Por otro lado, se realizó una clasificación de pobres, buenas y excelentes fuentes de betalaínas a los frutos de treinta cactáceas de diversos géneros y los resultados indican que el género *Stenocereus* de la variedad *stellatus*, proveniente de Puebla, México, se situó en la clasificación de «buena» fuente de pigmentos (Pérez-Loredo, García-Ochoa y Barragán-Huerta, 2016).

3.4. Tuna

La tuna (*Opuntia ficus-indica*), fruta del nopal perteneciente a la familia de las cactáceas, se caracteriza por tener distintos colores con tonalidades púrpura, roja, anaranjada, amarilla, blanca, verde y rosa (Sáenz, 2006; Ochoa-Velasco y Guerrero, 2010). El fruto tiene una cáscara gruesa, espinosa y con una pulpa abundante en semillas. El fruto maduro es una baya oval con diámetro de entre 5.5 y 7 cm, con una longitud de 5 a 11 cm, y un peso variable entre 43 y 220 g; su temporada de reco-

lección es en torno a los meses de julio y septiembre (Gutiérrez, 2014). Entre las betacianinas encontradas en la tuna, está principalmente la betanina y en menores niveles la isobetanina, y entre las betaxantinas se encuentra la indicaxantina.

En estudios recientes, se ha encontrado que el contenido de betacianinas (expresadas como betanina) y betaxantinas (expresadas como indicaxantina) es de 28.09 mg/100 g y 9.96 mg/100 g, respectivamente, en tuna roja (Sáenz, Tapia, Chavez y Robert, 2009). Por otro lado, Aquino *et al.* (2012) reportaron las concentraciones de betalaínas de siete variedades de tuna, concluyendo que el contenido de betanina en las diferentes variedades es más bajo que los reportados para pitaya roja. Aquino *et al.* (2012) reportan resultados del contenido de betaninas en la variedad Apastillada, con un valor alrededor de 27 mg/100 g, el cual se asemeja a los valores reportados por Sáenz *et al.* (2009). Además, los valores reportados por Aquino *et al.* (2012) muestran una alta variabilidad del contenido de betalaínas dependiendo de las variedades, al igual que en la pitaya.

3.5 Pitahaya

La pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) es una cactácea nativa de América, la cual se adapta fácilmente al medio en el que se encuentra. El fruto alcanza su mayor aceptación sensorial entre los 25 y 31 días después del periodo de floración (Centurión, Solís, Saucedo, Báez y Sauri, 2008). La problemática se encuentra en que la vida útil de los frutos es muy corta, cuando éstos son lo suficientemente maduros para ser cosechados. Osuna *et al.* (2011) definen como madurez inicial, media y completa, cuando el ángulo de matiz se encuentra en 31.8, 15.6 y 8.3, respectivamente, indicando colores rojo-naranja, rojo y rojo-púrpura, respectivamente. En un estudio llevado a cabo con esta fruta, Ochoa-Velasco *et al.* (2012) observaron una mayor actividad antioxidante en pitahaya de color rojo, seguida por la pitahaya de color rosa y después por la de color blanco, correspondientes a 160.8, 124.5 y 58.9 mg de Trolox/100 mL de muestra, respectivamente. Las betalaínas tienen estructuras de compuestos fenólicos y no fenólicos, los cuales son responsables de proporcionar la mayor capacidad antioxidante en estas frutas, sobre aquellos compuestos no betalainicos. Debido a que las betalaínas son las responsables de dar color rojo (betaninas) y amarillo (betaxantinas), las pitahayas rojas van a poseer una mayor capacidad antioxidante sobre aquellas que son de color rosa y color blanco, siendo las de color blanco las que tienen menor contenido de betalaínas y, por ende, menor capacidad antioxidante.

Las betacianinas son responsables de la coloración característica de la cáscara de la pitahaya. La síntesis de estos compuestos

es activada por la alta disponibilidad de azúcares y presencia de luz, entre otros factores, lo cual explica el por qué, conforme va madurando la fruta, va cambiando de color, hasta alcanzar aquel correspondiente al rojo (Centurión *et al.*, 2008). Priatni y Pradita (2015) estudiaron la cáscara de pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) y reportan valores del contenido de betacianinas de 515.20 µg/100 g y 491.16 µg/100 g, extraídas con metanol y agua, respectivamente. Por otro lado, Faridah, Holinesti y Syukri (2015) reportan un contenido de 73 mg/100 g de betalaínas totales en cáscara de pitahaya. Así mismo, Mello *et al.* (2015) reportan un contenido de betalaínas totales de 101 mg/100 g en cáscara de pitahaya.

4. Usos de las betalaínas en alimentos

Hasta ahora, las únicas betalaínas usadas en alimentos son las disponibles en forma de extractos concentrados o liofilizados de betabel. Éstas se utilizan en la industria alimentaria, para modificar el color correspondiente a los aditivos denominados E-162. Estos aditivos son aquellos que han pasado controles de seguridad, aprobados para su uso en la Unión Europea y pertenecen a la categoría de colorantes rojos. Se encuentran en yogurtes, cremas, helados, salchichas, jamón cocido, galletas, dulces y jugos. La concentración requerida de pigmento puro para obtener el tono adecuado es relativamente pequeña, ya que raramente se exceden los 50 mg por kilogramo de betanina (Manoharan, Ramasamy, Naresh, Dhanalashmi y Balakrishnan, 2012). El problema que presentan las betalaínas provenientes de raíz de betabel es que imparten sabor a tierra, debido a la presencia de geosminas (compuestos que producen ciertos microorganismos del suelo) (García *et al.*, 2011).

Conclusiones y comentarios finales

Debido a su capacidad para impartir color, a su origen natural y a su potencial como antioxidantes, las betalaínas han cobrado interés entre los investigadores y la industria de alimentos. Hasta el momento, las betalaínas provenientes del betabel son las más estudiadas y han sido las únicas usadas como colorantes en productos alimenticios, pero tienen el inconveniente de que afectan el sabor de los alimentos en los que se adicionan.

Otros productos como el amaranto y los frutos de algunas cactáceas, son buenas fuentes de estos pigmentos, por lo que constituyen una alternativa al betabel; y aunque ya han sido considerados por algunos investigadores, el estudio de la obtención y las características de sus betalaínas en forma más amplia y profunda, así como el de la aplicación de éstas en

productos alimenticios, representa un área de oportunidad en la investigación sobre colorantes naturales.

Agradecimientos

Alfonso González Ortiz agradece a la Universidad de las Américas Puebla por el apoyo y financiamiento para estudiar el Doctorado en Ciencia de Alimentos.

Lista de referencias

- Aquino, E., Chavarría, Y., Chávez, J., Guzmán, R., Silva, E. y Verdalet, I. (2012). Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 55, 3-10.
- Ayala, Ky Beltrán, M. (2007). Determinación e identificación parcial del contenido de pigmentos betalaínas en la pulpa de cuatro variedades de pitaya *Stenocereus griseus* H. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Disponible en www.respyn.uanl.mx/especiales/2007/ee-12-2007/documentos/CNCA-2007-37.pdf
- Biswas, M., Dey, S. y Sen, R. (2013). Betalains from *Amaranthus tricolor* L. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(5), 87-95.
- Cai, Y., Sun, M. y Corke, H. (2005). Characterization and application of betalain pigments from plants of the *Amaranthaceae*. *Trends in Food Science and Technology*, 16, 370-376.
- Canadianovic-Brunet, J., Savatovic, S., Cetkovic, G., Vulic, J., Djilas, S., Markov, S. y Cvetkovic, D. (2011). Antioxidant and antimicrobial activities of beet root pomace extracts. *Czech Journal of Food Science*, 29, 575-585.
- Centurión, A., Solís, S., Saucedo, C., Báez, R. y Sauri, E. (2008). Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31, 1-5.
- Chaves, M. M., Flexas, J. y Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103, 551-560.
- Chong, P., Yusof, Y., Aziz, M., Nazli, N., Chin, N. y Muhammad, S. (2014). Evaluation of solvent extraction of *Amaranth betacyanins* using multivariate analysis. *International Food Research Journal*, 21(4), 1569-1573.
- Clifford, T., Howatson, G., West, D. y Stevenson, E. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7(4), 2801-2822.
- Duarte, B., Santos, D., Marques, J. C. y Caçador, I. (2013). Ecophysiological adaptations of two halophytes to salt stress: photosynthesis, PS II photochemistry and antioxidant feedback - implications for resilience in climate change. *Plant Physiology and Biochemistry*, 67C, 178-188.
- Ehrendorfer, F. (1976). Closing remarks: systematics and evolution of centrospermous families. *Plant Systematics and Evolution* 126, 99-106.
- Esatbeyoglu, T., Wagner, A., Motafakkerazad, R., Nakajima, Y., Matsugo, S. y Rimbach, R. (2014a). Free radical scavenging and antioxidant activity of betanin: electron spin resonance spectroscopy studies and studies in cultured cells. *Food Chemistry and Toxicology*, 73, 119-126.
- Esatbeyoglu, T., Wagner, A., Schini-Kerth, V. y Rimbach, G. (2014b). Betanin - A food colorant with biological activity. *Molecular Nutrition & Food Research*, 59(1): 36-47.
- Esquivel, P., Stintzing, F. y Carle, R. (2007). Fruit characteristics during growth and ripening of different *Hylocereus* genotypes. *European Journal of Horticultural Science*, 72, 231-238.
- Faridah, A., Holinesti, R. y Syukri, D. (2015). Betalains from red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*): Extraction, spectrophotometric and HPLC-DAD identification, bioactivity and toxicity screening. *Pakistan journal of nutrition*, 14, 976-982.
- García, F., Gandía, F. y Escribano, J. (2011). Flores fluorescentes. *Investigación y Ciencia*, 145, 50-57.
- García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y. y Valle-Guadarrama, S. (2012). Betalains, phenolic compounds and antioxidant activity in pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(5), 1-5.
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y. y Joaquín-Cruz, E. (2013). Physical, chemical, and antioxidant activity characterization of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68, 403-410.
- Garzón, G. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27-36.
- Gengatharan, A., Dykes, G. y Sim, W. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in Functional Foods. *LWT - Food Science and Technology*, 64, 645-649.
- Georgiev, G., Weber, J., Kneschke, E., Denev, P., Bley, T. y Pavlov,

- A. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit dark red. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65, 105-111.
- Guneser, O. (2016). Pigment and color stability of beetroot betalains in cow milk during thermal treatment. *Food Chemistry*, 196, 220-227.
- Gutierrez, N. (2014). Nopal Tuna. *Secretaría de Desarrollo Rural, Gobierno del Estado de Jalisco*. Disponible en <http://seder.jalisco.gob.mx/catalogo-plantas/nopal-tuna>
- Hughes, N. M. y Smith, W. K. (2007). Seasonal photosynthesis and anthocyanin production in 10 broadleaf evergreen species. *Functional Plant Biology Journal*, 34, 1072-1079.
- Khandaker, L., Babar, M. y Oba, S. (2009). Influence of cultivar and growth stage on pigments and processing factors on betacyanins in red amaranth (*amaranthus tricolor* L.). *Food Science and Technology International*, 15(3), 259-265.
- Kugler, F., Stintzing, F. C. y Carle, R. (2007). Characterisation of betalain patterns of differently coloured inflorescences from *Comphrena globosa* L. and *Bougainvillea* sp. by HPLC-DAD-ESI-MSn. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387, 637-648.
- Manoharan, A., Ramasamy, D., Naresh, C., Dhanalashmi, B. y Balakrishnan, V. (2012). Organoleptic evaluation of beetroot juice as natural color for strawberry flavor ice cream. *Journal of Dairy Sciences*, 6(1), 5-7.
- Manrique, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas*, 12(1), 1-11.
- Meléndez-Martínez, J., Vicario, I. y Heredia, F. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 209-215.
- Mello, F. R., Bernardo, C., Dias, C. O., Gonzaga, L., Amante, E. R., Fett, R. y Candido, L. M. B. (2015). Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*hylocereus undatus*) peel. *Ciência Rural*, 45, 323-328.
- Moreno, D., García, C. y Gil, J. (2008). Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health. *Phytochemistry Reviews*, 7, 261-280.
- Ochoa-Velasco, C. y Guerrero-Beltrán, J. A. (2010). La tuna: una perspectiva de su producción, propiedades y métodos de conservación. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 4(1), 49-63.
- Ochoa-Velasco, C. y Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Short-wave ultraviolet-C light effect on pitaya (*Stenocereus griseus*) juice inoculated with *Zygosaccharomyces bailii*. *Journal of Food Engineering*, 117, 34-41.
- Ochoa-Velasco, C., García-Vidal, V., LunaGuevara, J., Luna-Guevara, M., Hernández-Carranza, P. y Guerrero-Beltrán, J. A. (2012). Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp). *Scientia Agropecuaria*, 3, 279-289.
- Oh, J. E., Kim, Y., Kim, J., Kwon, Y. y Lee, H. (2011). Enhanced level of anthocyanin leads to increased salt tolerance in *Arabidopsis PAP1-D* plants upon sucrose treatment. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 54, 79-88.
- Osuna, T., Ibarra, M., Dolores, M., Valdez, J., Villarreal, M. y Hernández, S. (2011). Postharvest quality of ppitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) fruits harvested in three maturity stages. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(1), 63-72.
- Pérez-Loredo, M., García-Ochoa, F. y Barragán-Huerta, B. (2016). Comparative analysis of betalain content in *Stenocereus stellatus* fruits and other cactus fruits using principal component analysis. *International Journal of Food Properties*, 19, 326-338.
- Pérez-Loredo, M., Hernández-De, L. y Barragán-Huerta, B. (2017). Extracción de compuestos bioactivos de pitaya roja (*Stenocereus stellatus*) aplicando pretratamientos con microondas, ultrasonido y enzimáticos. *Agrociencia*, 51, 135-151.
- Priatni, S. y Pradita, A. (2015). Stability Study of betacyanin extract from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peels. *Procedia Chemistry*, 16, 438-444.
- Rodríguez, L., Faúndez, E., Seymour, J., Escobar, C., Espinosa, L., Petroutsa, M., Ayres, A. y Niemeyer, H. (2005). Factores bióticos y concentración de ácido carmínico en la cochinita (*Dactylopius coccus* Costa) (Homoptera: Dactylopiidae). *Agricultura Técnica*, 65(3), 323-329.
- Rodríguez-Sánchez, J., Cruz, M. y Barragán-Huerta, B. (2016). Betaxanthins and antioxidant capacity in *Stenocereus pruinosus*: Stability and use in Food. *Food Research International*, 91, 63-71.
- Sáenz, C. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*, 162, 165.
- Sáenz, C., Tapia S., Chavez, J. y Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 114, 616-622.

- Slatnar, A., Stampar, F., Veberic, R. y Jakopic, J. (2015). HPLC-MS identification of betalain profile of different beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *Vulgaris*) parts and cultivars. *Journal of Food Science*, 80(9), C1952-C1959.
- Teng, X., Chen, N. y Xiao, X. (2016). Identification of a catalase-phenol oxidase in betalain biosynthesis in red amaranth (*Amaranthus cruentus*). *Frontiers in Plant Science*, 6, 1228.
- Tsurunaga, Y., Takahashi, T., Katsube, T., Kudo, A., Kuramitsu, O., Ishiwata, M. y Matsumoto, S. (2013). Effects of UV-B irradiation on the levels of anthocyanin, rutin and radical scavenging activity of buckwheat sprouts. *Food Chemistry*, 141, 552-556.
- Vergara, C. (2013). Extracción y estabilización de betalaínas de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) mediante tecnología de membranas y microencapsulación, como colorante alimentario. *Tesis doctoral*, Universidad de Chile.
- Wang, Y., Zhou, B., Sun, M., Li, Y. y Kawabata, S. (2012). UV-A light induces anthocyanin biosynthesis in a manner distinct from synergistic blue + UV-B light and UV-A/ blue light responses in different parts of the hypocotyls in turnip seedlings. *Plant Cell Physiology*, 53, 1470-1480.
- Wu, L., Hsu, H., Chen, Y., Chiu, C., Lin, Y. y Ho, J. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, 95, 319-327.
- Wybraniec, S., Nowak-Wydra, B., Mitka, K., Kowalski, P. y Mizrahi, Y. (2007). Minor betalains in fruits of *Hylocereus* species. *Phytochemistry*, 68, 251-259.