
ESTRUCTURA Y ESTABILIDAD DE LAS BETALAÍNAS

MARTHA AZUCENA FLORES MANCHA, ANA LUISA RENTERÍA
MONTEERRUBIO, ROGELIO SÁNCHEZ VEGA y
AMÉRICA CHÁVEZ MARTÍNEZ

RESUMEN

Recientemente, la industria alimentaria ha incrementado el interés de sustituir el uso de colorantes sintéticos por pigmentos naturales como las betalainas, las cuales se utilizan principalmente por el color rojo que imparten. Además, las betalainas son sustancias que poseen actividad antioxidante y anti degenerativa frente a diversas enfermedades. Son pigmentos nitrogenados solubles en agua, derivados del ácido betalámico: betacianinas (rojo-violeta) y betaxantinas (amarillo-naranja). Sin embargo, el uso de dichos pigmentos se ha visto restringido por su inestabilidad a diversos factores, tales como temperatura, pH, luz, actividad de agua y enzimática, así como a la presencia de oxígeno y/o metales. El objetivo de esta revisión fue sintetizar los avances sobre la estabilidad que presentan las betalainas frente a diversos factores fisicoquímicos.

Introducción

Las betalainas son los principales pigmentos de la raíz del betabel o remolacha (*Beta vulgaris* sp.) y de otras especies, como la espinaca malabar (*Basella* sp.), el amaranto (*Amaranthus* sp.), la pitaya (*Cereus*, *Hylocereus* y *Selenicereus* spp.) y la pera del cactus (*Opuntia* sp.) comúnmente conocida como tuna (Stintzing *et al.*, 2003; García-Cruz *et al.*, 2012; Kumar *et al.*, 2014; Güneşer, 2016; Celli y Brooks, 2017; Shaaruddin *et al.*, 2017; Ciriminna *et al.*, 2018).

La raíz del betabel representa la principal fuente comercial de betalainas concentrado o en polvo (Delgado-Vargas *et al.*, 2000; Soriano-Santos *et al.*, 2007; Rodríguez-Amaya, 2016). Dichos compuestos tienen aplicación como colorantes naturales (Herbach *et al.*, 2005, 2006b) en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria (Merreddy *et al.*, 2017). La betanina es el compuesto responsable del color rojo autorizado y clasificado como colorante natural de los alimentos (Esatbeyoglu *et al.*, 2015), bajo el código E162 por la Unión Europea (UE) (Kapadia y Subba, 2013; Carochi *et al.*, 2015; EFSA-ANS, 2015) y

por la Administración de Drogas y Alimentos de EUA (FDA) designado con el número 73.40 (Martínez *et al.*, 2006; Rodríguez-Amaya, 2016). En las últimas décadas se han estudiado las propiedades saludables de estos compuestos, entre las que se pueden destacar su actividad antioxidante, antidiabética, antiinflamatoria y anticancerígena (Kanner *et al.*, 2001; Kapadia *et al.*, 2003; Gandía-Herrero y García-Carmona, 2013; Gandía-Herrero *et al.*, 2013, 2016; Kapadia y Subba, 2013; Mikołajczyk-Bator y Pawlak, 2016). Las betalainas por naturaleza son inestables en presencia de luz (von Elbe *et al.*, 1974), temperatura (Huang y von Elbe,

PALABRAS CLAVE / Betalainas / Encapsulación / Estabilidad / Pigmentos /

Recibido: 21/01/2019. Modificado: 31/05/2019. Aceptado: 03/06/2019.

Martha Azucena Flores Mancha. Ingeniero Zootecnista en Sistemas de Producción, Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), México. Alumna de posgrado, UACH, México. e-mail: 99.azu.flores@gmail.com

Ana Luisa Rentería Monterrubio. Ph.D. en Microbiología de Alimentos, University of Bristol, RU. Profesora, UACH, México. e-mail: arenteria@uach.mx

Rogelio Sánchez Vega. Dr. en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad de Lleida, España. Profesor, UACH, México. e-mail: rsanchezv@uach.mx

América Chávez Martínez (Autora de correspondencia). Ph.D. en Tecnología de Alimentos, Clemson University, EEUU. Profesora, UACH, México. Dirección: Departamento de Tecnología de Productos de Origen Animal, Facultad de Zootecnia y Ecología, UACH. Periférico Francisco R. Almada km 1. Chihuahua, Chih., México. e-mail: amchavez@uach.mx

1985), pH (Penfield y Campbell, 1990), actividad enzimática (Slimen et al., 2017), y presencia o ausencia de oxígeno y metales (Tabla I) (von Elbe y Schwartz, 1996; Azeredo, 2009; Castillo-Garrido, 2013). Debido a la baja estabilidad, que conlleva la pérdida de sus propiedades saludables, se ha restringido su uso como ingredientes en la formulación de alimentos (Serris y Biliaderis, 2001; Herbach et al., 2006a; Stintzing et al., 2006). Por consiguiente, resalta la importancia de estudiar y comprender cómo los factores intrínsecos de un alimento, o bien las condiciones de empaque y/o almacenamiento benefician o afectan la estabilidad de las betalainas. El objetivo del presente trabajo fue establecer el estado del arte de cómo los factores fisicoquímicos alteran la estabilidad de las betalainas.

Método

Se realizó una búsqueda de artículos que citaban las palabras clave de esta revisión: ‘betalainas’, ‘pigmentos’, ‘estabilidad’ y ‘encapsulación’ en las bases de datos CONRYCIT (Consortio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica), NCBI (*National Center for Biotechnology Information*) y Google Académico. Se analizó cada uno de los artículos encontrados en dichas bases de datos y se elaboró una síntesis de la información para presentar el estado del arte.

Estructura

Las betalainas son pigmentos nitrogenados solubles en agua, derivados del ácido betalámico (Badui, 1990; Fennema, 1996; Tesoriere et al., 2004a, 2004b; Bonfigli, 2014; Khan, 2016a; Mereddy et al., 2017) y comprenden dos grupos estructurales: betacianinas y betaxantinas (Figura 1) (Lee et al.,

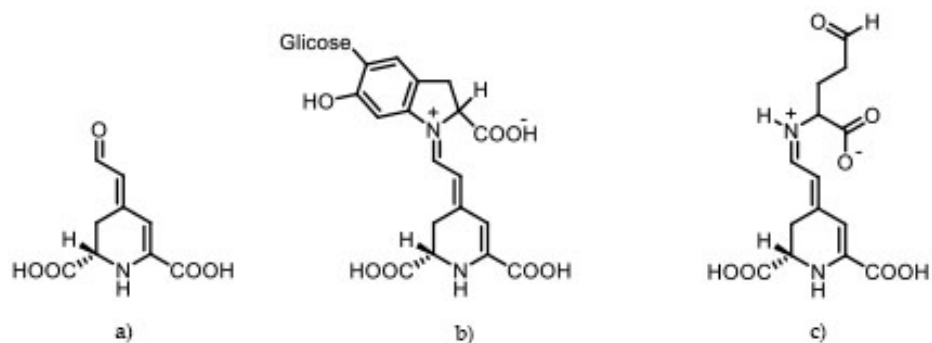


Figura 1. Estructura del ácido betalámico y grupos estructurales de las betalainas. a: ácido betalámico, b: betaxantinas, c: betacianinas. Adaptado de Stintzing y Carle (2004) y Slimen et al. (2017).

2005; Vulić et al., 2014; Khan y Giridhar, 2015; Khan, 2016a, 2016b; Martínez-Girón et al., 2016). Las betacianinas contienen un residuo de ciclo-dihidroxifenilalanina (ciclo-DOPA) (Penfield y Campbell, 1990; Tesoriere et al., 2004a, 2004b; Herbach et al., 2006a; Stintzing et al., 2006; Stintzing y Carle, 2007; Moreno et al., 2008) y exhiben una coloración rojo-violeta (Gandía-Herrero et al., 2009; Gandía-Herrero y García-Carmona, 2013; Carocho et al., 2015; Chranioti et al., 2015); en este grupo se incluyen la betanina, isobetanina y neobetanina (Figura 2) (Ahia, 2008; Ruiz-Gutiérrez et al., 2014, 2015). Por otra parte, las betaxantinas contienen diferentes cadenas laterales de aminoácidos o aminas (Tesoriere et al., 2004b) y exhiben una coloración amarillo-naranja (Kanner et al., 2001; Stintzing et al., 2002, 2003, 2005, 2006; Stintzing y Carle, 2004, 2007; Azeredo, 2009), incluyéndose en este grupo a la indicaxantina y vulgaxantinas I y II (Figura 2) (Penfield y Campbell, 1990; Ahia, 2008; Ruiz-Gutiérrez et al., 2015). Las betaxantinas difieren de las betacianinas en que el núcleo aquellas es remplazado por un aminoácido (von Elbe et al., 1974; Huang

y von Elbe, 1985; von Elbe y Schwartz, 1996; Azeredo, 2009; Azeredo et al., 2009).

Factores que Afectan la Estabilidad de las Betalainas

Temperatura

La degradación de las betalainas depende de la temperatura y sigue una cinética de reacción de primer orden, dependiente del pH (Huang y von Elbe, 1985, 1987; Castellar et al., 2003; Azeredo, 2005, 2009). El factor más importante en la estabilidad de las betalainas durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos es la temperatura (Huang y von Elbe, 1985; Herbach et al., 2005; Azeredo, 2009; Reshmi et al., 2012). Durante los procesos térmicos las betalainas pueden degradarse por isomerización, desglicosilación, hidrólisis, deshidrogenación y descarboxilación (von Elbe et al., 1974; Huang y von Elbe, 1985; von Elbe y Schwartz, 1996; Herbach et al., 2004b, 2005, 2007; Azeredo, 2009; Castillo-Garrido, 2013; Ruiz-Gutiérrez et al., 2014). La aparición de pardeamiento lleva a una reducción de color gradual, de rojo característico de estos pigmentos hasta llegar a color marrón claro (Huang y von Elbe, 1985). Se ha demostrado que las betalainas tienen mayor estabilidad a temperaturas bajas (Herbach et al., 2005), siendo 4°C la temperatura que permite mantener la estabilidad de los compuestos betalámicos, comparado con temperaturas más altas (Herbach et al., 2005; González-Sánchez et al., 2010; Janiszewska, 2014). El ácido betalámico (amarillo brillante) y ciclo-DOPA-5-O-glucosido (sin color) son productos resultantes de la descarboxilación de betanina durante tratamientos térmicos (Huang y von Elbe, 1985, 1987). Cuando la betanina sufre deshidrogenación se genera otro compuesto betalámico, la

TABLA I

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE LAS BETALAINAS

Alto contenido de pigmento	Bajo contenido de pigmento
Alto grado de glucosilación	Bajo grado de glucosilación
Alto grado de acilación	Bajo grado de acilación
Baja a_w	Alto a_w
Agentes quelatantes	Enzimas degradantes
pH 3 - 7	pH <3 o >7
Antioxidantes	Cationes de metal
Baja temperatura	Alta temperatura
Ausencia de luz	Presencia de luz
Ausencia de O_2	Presencia de O_2
Atmósfera de N_2	Presencia H_2O_2

Adaptado de Herbach et al. (2006) y Esatbeyoglu et al. (2015).

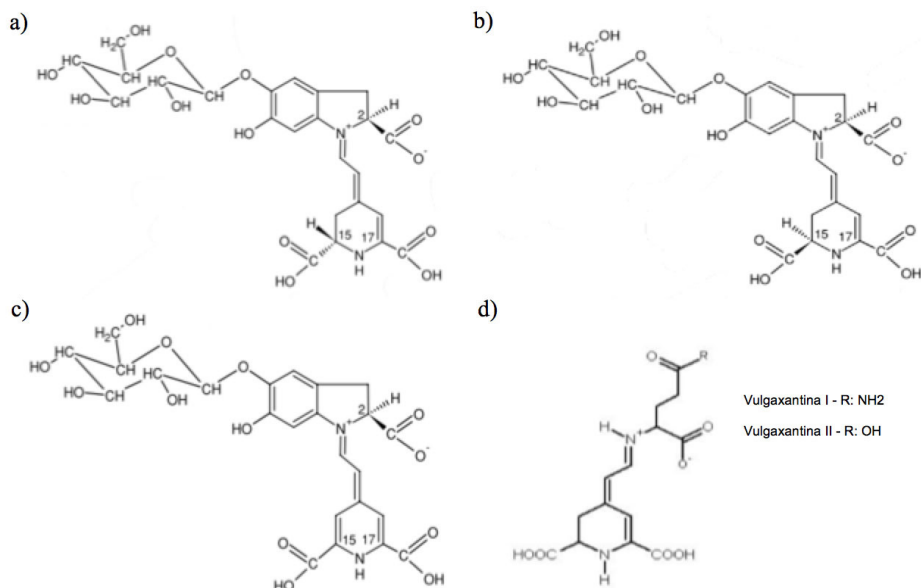


Figura 2. Estructura química de las betalainas presentes en *Beta vulgaris* spp. a: betanina, b: isobetanina, c: neobetanina, d: vulgaxantina I y II. Adaptado de Herbach *et al.* (2006b) y Ninfali y Angelino (2013).

neobetanina, observándose un cambio de color rojo a amarillo (Reshmi *et al.*, 2012). Así mismo, el proceso térmico del jugo de betabel causa la degradación de las betalainas dando como resultado diferentes tipos de betacianinas mono, di y tricarboxiladas (Wybraniec, 2005). Cabe mencionar que la adición de ácido cítrico es capaz de proteger la estabilidad de las betalainas ante factores como temperatura, luz y oxígeno (Hernández-Rodríguez y Salazar-Tijerino, 2017).

pH

Las betalainas son estables en soluciones en un rango de pH de 3,0 a 6,0. Por fuera de este rango los compuestos presentan una degradación rápida que va acompañada de una pérdida de color (Delgado-Vargas *et al.*, 2000; Castellar *et al.*, 2003; Stintzing *et al.*, 2005; Gandía-Herrero *et al.*, 2007, 2013; Herbach *et al.*, 2007; Gandía-Herrero y García-Carmona, 2013). Bajo condiciones alcalinas la betanina se degrada a ácido betalámico y ciclodopa-5-O-glucosido (von Elbe y Schwartz, 1996). Las betacianinas se consideran con mayor estabilidad a pH ácido, mientras que las betaxantinas son más resistentes en medios neutros (Reshmi *et al.*, 2012). El pH ideal para la estabilidad de los pigmentos del betabel en condiciones anaerobias es de 4,0-5,0 pero si las betalainas se encuentran en un medio con presencia de oxígeno el pH óptimo sería 5,5-5,8 (Huang y von Elbe, 1985; Herbach *et al.*, 2006b).

Luz

La estabilidad de las betalainas es afectada por luz; la degradación de color es causada por la absorción de ondas UV (Manchali *et al.*, 2013; Janiszewska, 2014). Sin embargo, Herbach *et al.* (2004) señalan que la degradación de los pigmentos por la luz depende de la presencia de oxígeno, puesto que ésta no se da en condiciones anaerobias. Este tipo de degradación se puede evitar mediante la utilización de ácido ascórbico (Herbach *et al.*, 2004a, 2004b, 2005). La presencia de luz y de oxígeno tienen un efecto sinérgico. La luz causa una degradación de color del 15,6% y el oxígeno 14,6%, mientras que la combinación de ambos causa una degradación del 28,6% (von Elbe *et al.*, 1974). Manchali *et al.* (2013) mencionan que no todas las fuentes de luz generan la degradación de las betalainas, sino que la luz de diferentes longitudes de onda puede causar un efecto aditivo de color en las betalainas. De tal forma, Shin *et al.* (2003) sugieren que la luz azul en combinación con la luz infrarroja inducen a una mayor acumulación de betacianinas.

Oxígeno

Las betalainas reaccionan con el oxígeno y cuando son almacenadas en presencia de oxígeno sufren una degradación de color (von Elbe *et al.*, 1974; Herbach *et al.*, 2006b, 2006c). Sin embargo, se ha demostrado que niveles bajos de oxígeno favorecen la

recuperación del pigmento después de sufrir dicha degradación (Huang y von Elbe, 1987). La eliminación de oxígeno disuelto aumenta la estabilidad de los compuestos betalámicos (von Elbe *et al.*, 1974). El oxígeno juega un papel crucial en la degradación de las betalainas, y más aún si dichos compuestos se encuentran almacenados por encima de los 4°C y en presencia de luz (von Elbe *et al.*, 1974; Schwartz *et al.*, 1983; Schwartz y von Elbe, 1983; Herbach *et al.*, 2004b; Azeredo, 2009; Manchali *et al.*, 2013).

Metales

Los metales son otro factor a considerar en la degradación de los pigmentos betalámicos. Cobre, hierro, aluminio y estaño afectan la estabilidad de la betanina acelerando la pérdida de su color (Pasch y von Elbe, 1979; Attoe y Vol Elbe, 1981, 1984; von Elbe y Attoe, 1985). Para reducir la degradación de color en los pigmentos por iones metálicos, algunos autores recomiendan utilizar ácido cítrico como agente quelante (Stintzing y Carle, 2007, 2008; Hernández-Rodríguez y Salazar-Tijerino, 2017).

Actividad de agua

Se ha observado una mayor estabilidad de las betalainas cuando la actividad de agua (a_w) es <0,63. La a_w afecta la estabilidad de los compuestos betalámicos puesto que el agua favorece la ruptura del enlace aldimina del compuesto (Herbach *et al.*, 2006a, b, c). Diversos autores reportan que la estabilidad de estos compuestos aumenta cuando se aplican métodos para reducir el contenido de agua, tales como liofilización y secado por atomización, entre otros (Castellar *et al.*, 2003; Herbach *et al.*, 2004b, 2005, 2006a, b, c; Pitalua *et al.*, 2010; Ruiz-Gutiérrez *et al.*, 2014).

Actividad enzimática

Otra causa de inestabilidad de los compuestos betalámicos es la inactivación inadecuada de enzimas tales como las glucosidasas, polifenoloxidasas y peroxidasas (Herbach *et al.*, 2006b; Castillo-Garrido, 2013). Las glucosidasas afectan la estabilidad de las betalainas por la formación de agliconas, las peroxidasas forman radicales y las polifenoloxidasas oxidan principalmente los compuestos fenólicos sin color, todo esto dando como resultado la inactivación de las betalainas y por consiguiente la decoloración de los compuestos betalámicos (von

Elbe y Schwartz, 1996; Stintzing y Carle, 2008; Castillo, 2013).

Procesos que Dan Estabilidad a las Betalaínas

Encapsulación

Se ha demostrado que la encapsulación de betalaínas y su aplicación en diferentes matrices comestibles pueden aumentar la estabilidad de estos compuestos (Tabla II), y por ende conservan las actividades antioxidantes y anti-radicales (Gandía-Herrero *et al.*, 2009; López *et al.*, 2012). La

microencapsulación se ha utilizado para proteger a los compuestos fitoquímicos (colorantes, saborizantes, antioxidantes, bactericidas, vitaminas, aceites esenciales, etc.) contenidos en alimentos (López *et al.*, 2012; Vergara, 2013; Xue *et al.*, 2013; Luna-Guevara *et al.*, 2016). Es un proceso mediante el cual las sustancias bioactivas se recubren con una película delgada de un material protector denominado agente encapsulante (Parra-Huertas, 2011; Arrazola *et al.*, 2014; Flores-Belmont y Jiménez-Munguía, 2013; Gallo-Nunura y Cevallos-Vera, 2014; Manjunatha y Raju, 2015; Diaz *et al.*, 2017), y tienen así mayor aplicación en la industria alimentaria,

ya que aumentan su estabilidad, incrementan la vida útil y son más fáciles de manejar (Azeredo, 2005, 2009; Azeredo *et al.*, 2007; Azeredo, 2009; Gandía-Herrero *et al.*, 2007; Pitalua *et al.*, 2010; López *et al.*, 2012; Janiszewska, 2014; Ibraheem *et al.*, 2015; Diaz *et al.*, 2017). Existe una gran variedad de técnicas para encapsular los alimentos y algunos autores las han clasificado como químicas y físicas o mecánicas (Guevara-Breton y Jimenez-Munguía, 2008). Entre los métodos químicos se encuentran la polimerización interfacial, gelificación iónica, cristalización, coacervación compleja, incompatibilidad polimérica y atrapamiento

TABLA II
AGENTES ENCAPSULANTES Y CONDICIONES DE ENCAPSULACIÓN UTILIZADOS PARA ESTABILIZAR BETALAÍNAS

Método de Encapsulación - Secado por atomización				
Referencia	Fuente de betalaínas	Agente encapsulante	Temp. entrada; flujo de aire; tasa alimentación; tasa aspiración; presión	Aplicación en alimentos
Antigo <i>et al.</i> (2017)	<i>Beta vulgaris</i>	Maltodextrina y goma xantana	150°C; 0,6l·h ⁻¹ ; NE; 3,8m ³ ·h ⁻¹ ; 0,08-0,14bar	-
Omae <i>et al.</i> (2017)	<i>Beta vulgaris</i>	Inulina	120°C; 600l·h ⁻¹ ; 10ml·min ⁻¹ ; NE; 20psi	Adición a sorbete
Castro-Muñoz <i>et al.</i> (2015)	<i>Opuntia stricta</i>	Maltodextrina y gelatina	110-140°C; NE; 1ml·min ⁻¹ ; 32m ³ ·h ⁻¹ , 40kg·cm ⁻²	-
Janiszewska (2014)	<i>Beta vulgaris</i>	Maltodextrina y goma arábica	160°C; NE; NE; 0,055m ³ ·s ⁻¹ ; NE	-
Ravichandran <i>et al.</i> (2014)	<i>Beta vulgaris</i>	Maltodextrina, goma guar, goma arábica, pectina y goma xantana	90-102°C; 700l·h ⁻¹ ; 10ml·min ⁻¹ ; NE; 25psi	-
Ruiz <i>et al.</i> (2014)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Fibra soluble (β-D-glucano)	160-200°C; NE; NE; NE; 4,5bar	-
Castillo-Garrido (2013)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Capsul y K-4484	110-133°C; 600l·h ⁻¹ ; 5%; 100%; 5bar	Adición a bebida refrescante
Gandía-Herrero <i>et al.</i> (2013)	<i>Beta vulgaris</i>	Quitosano y maltodextrina	140°C; 246l·h ⁻¹ ; 2,5ml·min ⁻¹ ; 36m ³ ·h ⁻¹ ; NE	-
Vergara (2013)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Capsul y K-4484	110-219°C; 600l·h ⁻¹ ; 3ml·min ⁻¹ ; NE; 5bar	Adición a bebida refrescante
Gandía-Herrero <i>et al.</i> (2010)	<i>Opuntia</i>	Maltodextrina	120-210°C; 246l·h ⁻¹ ; 2,5ml·min ⁻¹ ; 36m ³ ·h ⁻¹ ; NE	-
Pitalua <i>et al.</i> (2010)	<i>Beta vulgaris</i>	Goma arábica	175-185°C; NE; NE; NE; 5bar	-
Obón <i>et al.</i> (2009)	<i>Opuntia stricta</i>	Jarabe de glucosa	80-160°C; 0,36-0,72l·h ⁻¹ ; NE; 36m ³ ·h ⁻¹	Adición a yogurt y beb. refresc.
Saenz <i>et al.</i> (2009)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Maltodextrina e inulina	120-160°C; 600l·h ⁻¹ ; 10ml·min ⁻¹ ; NE; 20psi	-
Azeredo <i>et al.</i> (2007)	<i>Beta vulgaris</i>	Maltodextrina	120°C; 0,4l·h ⁻¹ ; NE; NE; NE	Adición a yogurt natural
Díaz <i>et al.</i> (2006)	<i>Opuntia lasiacantha</i>	Maltodextrina	150°C; NE; 15%; NE; NE	-
MoBhammer <i>et al.</i> (2006)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Maltodextrina	165°C; NE; NE; NE; NE	-
Cai y Corke (2000)	<i>Amaranthus</i>	Maltodextrina	150-210°C; NE; 390-530g·h ⁻¹ ; 56m ³ ·h ⁻¹ ; 1,4-1,5bar	-
Método de Encapsulación - Liofilización				
Referencia	Fuente de betalaínas	Agente encapsulante	Congelación: tiempo y temp / Liofilización: tiempo; temp; presión	Aplicación en alimentos
Antigo <i>et al.</i> (2017)	<i>Beta vulgaris</i>	Maltodextrina y goma xantana	48h; -10°C / 48h; -36°C; 1,09Pa	-
Ravichandran <i>et al.</i> (2014)	<i>Beta vulgaris</i>	Maltodextrina, goma guar, goma arábica, pectina y goma xantana	3h; -18°C / 48h; NE; NE	-
Díaz <i>et al.</i> (2006)	<i>Opuntia lasiacantha</i>	Maltodextrina	Congelac. inmediata N ₂ / 24h; NE; NE	-
MoBhammer <i>et al.</i> (2006)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Maltodextrina	NE; NE / 72h; -25°C; NE	-
Serris y Biliaderis (2001)	<i>Beta vulgaris</i>	Maltodextrina y pululano	NE; -18°C / NE; NE; NE	-
Cai y Corke (2000)	<i>Amaranthus</i>	Maltodextrina	Congelac. inmediata N ₂ / 24h; NE; NE	-

NE: No especifica.

de liposomas (Pedroza-Islas, 2002; Azeredo, 2005, 2009; Flores-Belmont y Jiménez-Munguía, 2013). Dentro de las técnicas físicas o mecánicas aparecen el secado en lecho fluidizado, extrusión, liofilización y secado por atomización (Madene *et al.*, 2006), siendo estas últimas las más utilizadas (Azeredo, 2005; Azeredo *et al.*, 2009; Oberoi y Sogi, 2015; Araujo-Díaz *et al.*, 2017; Shaaruddin *et al.*, 2017; Shishir y Chen, 2017).

Agentes encapsulantes

Existen diferentes tipos de agentes encapsulantes (Sandoval-Peraza *et al.*, 2016), también llamados acarreadores, entre los que se encuentran carbohidratos, lípidos, proteínas y polímeros de grado alimenticio (Guevara-Breton y Jimenez-Munguía, 2008; Gallo-Nunura y Cevallos-Vera, 2014; Ibraheem *et al.*, 2015; Antigo *et al.*, 2017). En el grupo de los carbohidratos se incluyen los almidones, alginatos, carrageninas, goma arábica, goma guar, goma xantana, sacarosa, glucosa, maltodextrina, inulina, jarabe de maíz, pectina, carboximetil celulosa y quitosano, entre otros (Barbosa *et al.*, 2005; Pitalua *et al.*, 2010; Ravichandran *et al.*, 2014; Manjunatha y Raju, 2015; Díaz *et al.*, 2017; Shishir y Chen, 2017; Slimen *et al.*, 2017). Entre los lípidos se ubican las ceras de abeja, carnauba y candelilla, diestearato de glicerol y grasas naturales y modificadas (Pedroza-Islas *et al.*, 1999; Sandoval *et al.*, 2016). En las proteínas se puede destacar como agentes encapsulantes a la gelatina, caseínas como el caseinato de sodio, proteínas del suero de soja y proteínas de trigo (Gandía-Herrero y García-Carmona, 2013). En los polímeros de grado alimenticio se destacan el polipropileno, polivinilacetato, poliestireno y polibutadieno, entre otros (Guevara-Breton y Jimenez-Munguía, 2008). Cada grupo de materiales acarreadores tienen ventajas y desventajas, por lo que los recubrimientos en su mayoría son formulaciones compuestas de todos los anteriores (Tabla II) (Madene *et al.*, 2006).

Cai y Corke (2000) y Gandía-Herrero *et al.* (2010, 2013) reportan que la estabilidad de las betalainas aumenta cuando son encapsuladas (secado por atomización) con maltodextrina, manteniendo la coloración rojo-púrpura de los polvos. Una investigación realizada por Castro-Muñoz *et al.* (2015) sugiere que la mezcla de maltodextrina con gelatina (75:25) es una opción viable para la encapsulación de compuestos alimentarios como las betalainas. Azeredo *et al.* (2007) indican que el uso de diferentes

proporciones de maltodextrina en la encapsulación mediante el secado por atomización de betacianinas aumenta su estabilidad.

Por su parte, Ravichandran *et al.* (2014) mencionan que la encapsulación de las betalainas secado por atomización con diferentes mezclas (maltodextrina con pectina, con goma arábica y con goma xantana) incrementan la estabilidad de las betalainas en comparación con el uso exclusivo de maltodextrina (6, 6 y 21% respectivamente). Así mismo el estudio señala que las betalainas encapsuladas por liofilización con goma xantana aumentan hasta un 65% del contenido de betalainas respecto al control con maltodextrina únicamente. De igual forma, Moßhammer *et al.* (2006) y Antigo *et al.* (2017) señalan que la liofilización de extracto de betabel mezclado con maltodextrina y goma xantana presenta una mayor estabilidad en contenido de betalainas, en relación al secado por pulverización.

Por otro lado, se ha demostrado que la estabilidad de las betalainas aumenta cuando se lleva a cabo el secado por atomización utilizando como agente encapsulante la goma arábica en relación con la maltodextrina, debido a su menor higroscopicidad (Janiszewska, 2014). También, se ha determinado que el uso de inulina (Omae *et al.*, 2017), goma guar (Ravichandran *et al.*, 2014), quitosano (Gandía-Herrero *et al.*, 2013), fibra soluble β -D-glucano (Ruiz-Gutiérrez *et al.*, 2014), jarabe de glucosa (Obón *et al.*, 2009), capsul y K4484 (Castillo-Garrido, 2013; Vergara, 2013) como agentes encapsulantes en secado por atomización, aumenta la estabilidad de betalainas en contraste con el extracto sin agentes. Estos métodos y agentes de encapsulación han sido utilizados para diversas fuentes de betalainas, tales como *Beta vulgaris*, *Opuntia (ficus, lasiacantha, stricta)*, etc) y *Amaranthus*, entre otras (Tabla II).

Conclusión

La aplicación comercial de los pigmentos del betabel (betalainas) esta limitada por su inestabilidad; sin embargo, diferentes técnicas de encapsulación han resultado ser eficaces para aumentar su estabilidad. Los factores más importantes a considerar durante la encapsulación de los compuestos betalámicos son el proceso empleado (liofilización, extrusión, secado por atomización, etc.), la temperatura y el agente encapsulante, encontrándose resultados óptimos cuando se emplean mezclas de agentes encapsulantes tales como maltodextrina y goma xantana, y se emplea liofilización.

Por lo anterior, los métodos de encapsulación representan una alternativa para conservar las propiedades fisicoquímicas de las betalainas, de tal forma que estos compuestos puedan utilizarse para la elaboración de una gran variedad productos alimenticios. La demanda de alimentos formulados con ingredientes naturales ha aumentado en los últimos años, por lo que el uso de betalainas como colorantes naturales es una alternativa prometedora, ya que además de impartir color, son compuestos con excelentes propiedades saludables. No obstante, hace falta investigar sobre su estabilidad estructural y ampliar el panorama de las ventajas y/o beneficios que pueden aportar a la salud de quien las consume.

REFERENCIAS

- Ahia E (2008) Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 56: 5758-5764.
- Antigo, JL, Bergamasco RC, Madrona GS (2017) Effect of pH on the stability of red beet extract (*Beta vulgaris* L.) microcapsules produced by spray drying or freeze drying. *Food Sci. Technol.* 38: 72-77.
- Araujo SB, Leyva CP, Aguirre PB, Alvarez CS, Saavedra ZL (2017) Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content, employing inulin and maltodextrin in the spray drying of blueberry juice. *J. Carbohydr. Polym.* 167: 317-325.
- Arrazola G, Herazo I, Alvis A (2014) Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante secado por aspersión y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Inf. Tecnol.* 25(3): 31-42.
- Attoe EL, Vol Elbe JH (1981) Photochemical Degradation of Betanin and Selected Anthocyanins. *J. Food Sci.* 46: 1934-1937.
- Attoe EL, Von Elbe JH (1984) Oxygen involvement in betanin degradation - Oxygen uptake and influence of metal ions. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 179: 232-236.
- Azeredo HMC, Santos A, Souza A, Mendes K, Andrade MI (2007) Betacyanin stability during processing and storage of a microencapsulated red beetroot extract. *Am. J. Food Technol.* 2: 307-312.
- Azeredo HMC (2005) Encapsulação: aplicação a tecnologia de alimentos. *Aliment. e Nutr.* 16: 89-97.
- Azeredo HMC (2009) Betalains: Properties, sources, applications, and stability - A review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44: 2365-2376.
- Azeredo HMC, Pereira AC, De Souza ACR, Gouveia ST, Mendes KCB (2009) Study on efficiency of betacyanin extraction from red beetroots. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44: 2464-2469.
- Badui D (1990) Color. En *Química de los Alimentos*. Alhambra. México. pp. 379-403.
- Barbosa MIMJ, Borsarelli CD, Mercadante AZ (2005) Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible

- polysaccharide preparations. *Food Res. Int.* 38: 989-994.
- Bonfigli M (2014) Optimización conjunta de factores determinantes de la calidad de extractos de remolacha. *JIT.* 9 pp.
- Cai Y, Corke H (2000) Production and properties of spray-dried amaranthus betacyanin pigments. *J. Food Sci.* 65: 1248-1252.
- Carocho M, Morales P, Ferreira I (2015) Natural food additives: Quo vadis? *Trends Food Sci. Technol.* 45: 284-295.
- Castellar J, Obón J, Alacid M, Fernández-López J (2003). Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. *J. Agric. Food Chem.* 51: 2772-2776.
- Castillo-garrido IC (2013) *Estabilidad de Betalainas en una Mezcla Seca para Bebidas Refrescantes, a Base de Pulpa y Extracto de Tuna Purpura* (*Opuntia ficus-indica*) *Microencapsuladas*. Tesis. Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/113994>
- Castro-muñoz R, Barragán-huerta B, Yáñez-fernández J (2015) Use of gelatin-maltodextrin composite as an encapsulation support for clarifed juice from purple cactus pear (*Opuntia stricta*). *LWT - Food Sci. Technol.* 62: 242-248.
- Celli GB, Brooks MSL (2017) Impact of extraction and processing conditions on betalains and comparison of properties with anthocyanins - A current review. *Food Res. Int.* 100: 501-509.
- Chranioti C, Nikoloudaki A, Tzia C (2015) Saffron and beetroot extracts encapsulated in maltodextrin, gum Arabic, modified starch and chitosan: Incorporation in a chewing gum system. *Carbohydr. Polym.* 127: 252-263.
- Ciriminna R, Fidalgo A, Danzi C, Timpanaro G, Ilharco LM, Pagliaro M (2018) Betanin: A bioeconomy insight into a valued betacyanin. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 6: 2860-2865.
- Delgado-vargas F, Jiménez AR, Paredes-lópez O (2000) Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains - Characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 40: 173-289.
- Díaz-sánchez F, Santos-lópez EM, Kerstupp SF, Villagómez-ibarra R, Scheinvar L (2006) Betalain, betanin, spray drying, food colorant, red prickly pear. *Electr. J. Environ. Agric. Food Chem.* 2: 1330-1337.
- Díaz YL, Torres LS, Serna JA (2017) Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla con interés funcional. *Inf. Tecnol.* 28(6): 23-34.
- EFSA-ANS (2015) Scientific opinion on the re-evaluation of beetroot red (E 162) as a food additive. *Eur. Food Saf. Auth. J.* 13(12): 1-56.
- Esatbeyoglu T, Wagner AE, Schini-Kerth VB, Rimbach G (2015) Betanin - A food colorant with biological activity. *Mol. Nutr. Food Res.* 59: 36-47.
- Fennema OR (1996) Colorants. En *Food Chemistry*. Dekker. Nueva York, EUA. pp. 651-722.
- Flores-Belmont I, Jiménez-Munguía M (2013) Microencapsulación de compuestos activos con quitosano. *Temas Sel. Ing. Aliment.* 7: 48-56.
- Gallo-Nunura M, Cevallos-Vera M (2014) *Estudio Comparativo de la Deshidratación del Aguaymanto* (*Physalis peruviana*) *Mediante Atomización y Liofilización Utilizando Agentes Encapsulantes en la Retención de la Vitamina C*. Tesis. Universidad Nacional Pedro Luis Gallo. Perú.
- Gandía-Herrero F, Cabanes J, Escribano J, García-Carmona F, Jiménez-Atiénzar M (2013) Encapsulation of the most potent antioxidant betalains in edible matrixes as powders of different colors. *J. Agric. Food Chem.* 61: 4294-4302.
- Gandía-Herrero F, Escribano J, García-Carmona F (2007) Characterization of the activity of tyrosinase on betanidin. *J. Agric. Food Chem.* 55: 1546-1551.
- Gandía-Herrero F, Escribano J, García-Carmona F (2009) The role of phenolic hydroxy groups in the free radical scavenging activity of betalains. *J. Nat. Prod.* 72: 1142-1146.
- Gandía-Herrero F, Escribano J, García-Carmona F (2016) Biological Activities of Plant Pigments Betalains Biological Activities of Plant Pigments Betalains. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 56: 937-945.
- Gandía-Herrero F, García-Carmona F (2013) Biosynthesis of betalains: Yellow and violet plant pigments. *Trends Plant Sci.* 18: 334-343.
- Gandía-Herrero F, Jiménez-Atiénzar M, Cabanes J, García-Carmona F, Escribano J (2010) Stabilization of the bioactive pigment of opuntia fruits through maltodextrin encapsulation. *J. Agric. Food Chem.* 58: 10646-10652.
- García-Cruz L, Salinas-Moreno Y, Valle-Guadarrama S (2012) Betalains, phenolic compounds and antioxidant activity in pitahaya de mayo (*Stenocereus Griseus* H.). *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 1-5.
- González-Sánchez J, Seijas-Bernabé N, Seijas-Bernabé P (2010) Efecto de la temperatura y luminosidad sobre la estabilidad de las betalainas obtenidas de "betarraga". *Cienc. Des. Rev. Investig. Apl.* 13(2): 1-4.
- Guevara-Bretón NA, Jimenez-Munguía MT (2008) Materiales utilizados en la encapsulación. *Temas Selec. Ing. Aliment.* 2: 22-27.
- Güneşer O (2016) Pigment and color stability of beetroot betalains in cow milk during thermal treatment. *Food Chem.* 196: 220-227.
- Herbach KM, Stintzing FC, Carle R (2006a) Betalain stability and degradation. *J. Food Sci.* 71: 41-50.
- Herbach KM, Maier C, Stintzing FC, Carle R (2007) Effects of processing and storage on juice colour and betacyanin stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) juice. *Eur. Food Res. Technol.* 224: 649-658.
- Herbach KM, Rohe M, Stintzing FC, Carle R (2006b) Structural and chromatic stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus* [Weber] Britton & Rose) betacyanins as affected by the juice matrix and selected additives. *Food Res. Int.* 39: 667-677.
- Herbach KM, Stintzing FC, Carle R (2004a). Impact of thermal treatment on color and pigment pattern of red beet (*Beta vulgaris* L) preparations. *J. Food Sci.* 69: C491-C498.
- Herbach KM, Stintzing FC, Carle R (2005) Identification of heat-induced degradation products from purified betanin, phylloactin and hylcocerenin by high-performance liquid chromatography/ electrospray ionization mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 19: 2603-2616.
- Herbach KM, Stintzing FC, Carle R (2006c) Stability and color changes of thermally treated betanin, phylloactin, and hylcocerenin solutions. *J. Agric. Food Chem.* 54: 390-398.
- Herbach MK, Stintzing FC, Carle R (2004b) Thermal degradation of betacyanins in juices from purple pitaya [*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose] monitored by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometric analyses. *Eur. Food Res. Technol.* 219: 377-385.
- Hernández-Rodríguez G, Salazar-Tijerino M (2017) *Efecto de las betalainas y fenoles solubles totales de pitahaya* (*Hylocereus polyrhizus*) *como antioxidantes en yogur*. Tesis. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. 28 pp.
- Huang A, Von Elbe JH (1985) Kinetics of the degradation and regeneration of betanin. *J. Food Sci.* 50: 1115-1120.
- Huang A, Von Elbe JH (1987) Effect of pH on the degradation and regeneration of betanin. *J. Food Sci.* 52: 1689-1693.
- Ibraheem AA, Makpoul KR, Shokry AM (2015) Improving red color of some food products using red beet powder. *Int. J. Sci. Res.* 5: 798-805.
- Janiszewska E (2014) Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. *Powder Technol.* 264: 190-196.
- Kanner J, Harel S, Granit R (2001) Betalains: A new class of dietary cationized antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 49: 5178-5185.
- Kapadia GJ, Azuine MA, Sridhar R, Okuda Y, Tsuruta A, Ichiishi E, Mukainake T, Takasaki M, Konoshima T, Nishino H, Tokuda H (2003) Chemoprevention of DMBA-induced UV-B promoted, NOR-1-induced TPA promoted skin carcinogenesis, and DEN-induced phenobarbital promoted liver tumors in mice by extract of beetroot. *Pharmacol. Res.* 47: 141-148.
- Kapadia GJ, Subba RG (2013) *Red Beet Biotechnology. Food and Pharmaceutical Applications*. Springer. New York, EUA.
- Khan MI (2016a) Plant Betalains: Safety, antioxidant activity, clinical efficacy, and bioavailability. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 15: 316-330.
- Khan MI (2016b) Stabilization of betalains: A review. *Food Chem.* 197: 1280-1285.
- Khan MI, Giridhar P (2015) Plant betalains: Chemistry and biochemistry. *Phytochemistry* 117: 267-295.
- Kumar S, Manoj P, Shetty N, Prakash M, Giridhar P (2014) Characterization of major betalain pigments - Gomphrenin, betanin and isobetanin from *Basella rubra* L. fruit and evaluation of efficacy as a natural colourant in product (ice cream) development. *J. Food Sci. Technol.* 52: 4994-5002.
- Lee CH, Wettasinghe M, Bolling BW, Ji LL, Parkin KL (2005) Betalains, phase ii enzyme-inducing components from red beetroot (*Beta vulgaris* L.) extracts. *Nutr. Cancer* 53: 91-103.
- López A, Deladino L, Navarro S, Martino M (2012) Encapsulación de compuestos bioactivos con alginatos para la industria de alimentos. *Alim. Cienc. Tecnol. Alim.* 10: 18-27.
- Luna-Guevara J, López-Fuentes J, Jiménez-González O, Luna-Guevara L (2016) Microencapsulación de algunos compuestos

- bioactivos mediante secado por aspersión Microencapsulación de some bioactive compounds through spray drying. *Rev. Iberoam. Cs. Biol. Agropec.* 5(10): 11 pp.
- Madene A, Jacquot M, Scher J, Desobry S (2006) Flavour encapsulation and controlled release - A review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 41: 1-21.
- Manchali S, Chidambara K, Nagaraju S, Neelwarne B (2013) Stability of betalain pigments of red beet. En Neelwarne B (Ed.) *Red Beet Biotechnology. Food And Pharmaceutical Applications.* Springer. Nueva York, EUA. pp. 5-74.
- Manjunatha SS, Raju PS (2015) Rheological characteristics of reconstituted spray dried beetroot (*Beta vulgaris* L.) juice powder at different solid content, temperatures and carrier materials. *J. Int. Food Res.* 22: 2333-2345.
- Martínez-Girón J, Martínez J, García-Hurtado L, Cuaran J, Ocampo Y (2016) Pigmentos vegetales y compuestos naturales aplicados en productos cárnicos como colorantes y/o antioxidantes: Revisión. *Inventum* 21: 51-62.
- Martínez L, Cilla I, Beltrán JA, Roncalés P (2006) Comparative effect of red yeast rice (*Monascus purpureus*), red beet root (*Beta vulgaris*) and betanin (E-162) on colour and consumer acceptability of fresh pork sausages packaged in a modified atmosphere. *J. Sci. Food Agric.* 86: 500-508.
- Merreddy R, Chan A, Fanning K, Nirmal N, Sultanbawa Y (2017) Betalain rich functional extract with reduced salts and nitrate content from red beetroot (*Beta vulgaris* L.) using membrane separation technology. *Food Chem.* 215: 311-317.
- Mikolajczyk-Bator K, Pawlak S (2016) The effect of thermal treatment on antioxidant capacity and pigment contents in separated betalain fractions. *Acta Sci. Pol. Technol. Alim.* 15: 257-265.
- Moreno DA, García-Viguera C, Gil JI, Gil-Izquierdo A (2008) Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health. *Phytochem. Rev.* 7: 261-280.
- Mohammer MR, Stintzing FC, Carle R (2006) Evaluation of different methods for the production of juice concentrates and fruit powders from cactus pear. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 7: 275-287.
- Ninfali P, Angelino D (2013) Nutritional and functional potential of *Beta vulgaris* cicla and rubra. *Fitoterapia* 89: 188-199.
- Oberoi DPS, Sogi DS (2015) Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *J. Food Eng.* 165: 172-178.
- Obón JM, Castellar MR, Alacid M, Fernández-López JA (2009) Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *J. Food Eng.* 90: 471-479.
- Omae JM, Goto PA, Rodrigues LM, Santos S, Paraiso CM, Madrona GS, Bergamasco DC (2017) Beetroot extract encapsulated in inulin: Storage stability and incorporation in sorbet. *Chem. Eng. Trans.* 57: 1843-1848.
- Parra-Huertas R (2011) Revisión: Microencapsulación de alimentos. *Rev. Fac. Nac. Agric. Medellín* 63(2): 5669-5684.
- Pasch J, Von Elbe JH (1979) Betanine stability in buffered solutions containing organic acids, metal cations, antioxidants, or sequestrants. *J. Food Sci.* 44: 72-74.
- Pedroza-Islas R (2002) Alimentos microencapsulados: Particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas. *Mem. VI Simp. Int. Nutrición Acuicola.* pp. 438-447.
- Pedroza-Islas R, Vernon-Carter EJ, Durán-Domínguez C, Trejo-Martínez S (1999) Using biopolymer blends for shrimp feeds-tuff microencapsulation - I. Microcapsule particle size, morphology and microstructure. *Food Res. Int.* 32: 367-374.
- Penfield M, Campbell A (1990) Fruits and vegetables. En Penfield M, Campbell A (Eds.) *Experimental Food Science.* Academic Press. San Diego, CA, EUA. 294:330.
- Pitalua E, Jimenez M, Vernon-Carter EJ, Beristain CI (2010) Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum arabic as wall material. *Food Bioprod. Process.* 88: 253-258.
- Ravichandran K, Palaniraj R, Min N, Thaw M, Gabr AMM, Ahmed AR, Knorr D, Smetanska I (2014) Effects of different encapsulation agents and drying process on stability of betalains extract. *J. Food Sci. Technol.* 51: 2216-2221.
- Reshmi SK, Aravindhan KM, Devi PS (2012) The effect of light, temperature, pH on stability of betacyanin pigments in *Basella alba* fruit. *Asian J. Pharmac. Clin. Res.* 5(4): 5-8.
- Rodríguez-Amaya DB (2016) Natural food pigments and colorants. *Curr. Opin. Food Sci.* 7: 20-26.
- Ruiz-Gutiérrez MG, Amaya-Guerra CA, Quintero-Ramos A, Pérez-Carrillo E, Ruiz-Anchondo TDJ, Báez-González JG, Meléndez-Pizarro CO (2015) Effect of extrusion cooking on bioactive compounds in encapsulated red cactus pear powder. *Molecules* 20: 8875-8892.
- Ruiz-Gutiérrez MG, Amaya-Guerra CA, Quintero-Ramos A, Ruiz-Anchondo TDJ, Gutiérrez-Urbe JA, Baez-González JG, Lardizabal-Gutiérrez D, Campos-Venegas K (2014) Effect of soluble fiber on the physicochemical properties of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) encapsulated using spray drying. *Food Sci. Biotechnol.* 23: 755-763.
- Saénz C, Tapia S, Chávez J, Robert P (2009) Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chem.* 114: 616-622.
- Sandoval-Peraza VM, Cu-cañetas T, Peraza-Mercado G, Acereto-Escoffi POM (2016) Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutraceuticas. *Alim. Func. Hoy.* 181-218.
- Schwartz S, Von Elbe JH, Pariza M, Goldsworthy T, Pilot H (1983) Inability of red beet betalain pigments to initiate or promote hep- atocarcinogenesis. *Food Chem. Toxicol.* 21: 531-535.
- Schwartz S, Von Elbe JH (1983) Identification of betanin degradation products. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 176: 448-453.
- Serris GS, Biliaderis CG (2001) Degradation kinetics of beetroot pigment encapsulated in polymeric matrices. *J. Sci. Food Agric.* 81(8): 691-700.
- Shaaruddin S, Ghazali HM, Mirhosseini SH, Muhammad K (2017) Stability of betanin in pitaya powder and confection as affected by resistant maltodextrin. *LWT - Food Sci. Technol.* 84(1): 129-134.
- Shin K, Murthy H, Heo J, Paek K (2003) Induction of betalain pigmentation in hairy roots of red beet under different radiation sources. *Biol. Plantarum* 47(1): 149-152.
- Shishir M, Chen W (2017) Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends Food Sci. Technol.* 65(1): 49-67.
- Slimen IB, Najat T, Abderrabba M (2017) Chemical and antioxidant properties of betalains. *J. Agric. Food Chem.* 65(4): 675-689.
- Soriano-santos J, Franco-zavaleta M, Pelayo-zaldívar C, Armella-villalpando M, Yañez-lópez M, Guerrero-legarreta I (2007) Caracterización parcial del pigmento rojo del fruto de la Jiotilla (*Escontria chiotilla* [Weber] Britton & Rose). *Rev. Mex. Ing. Quím.* 6(1): 19-25.
- Stintzing FC, Carle R (2004) Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends Food Sci. Technol.* 15(1): 19-38.
- Stintzing FC, Carle R (2007) Betalains - emerging prospects for food scientists. *Trends Food Sci. Technol.* 18(10): 514-525.
- Stintzing FC, Carle R (2008) Food Colorants. Chemical and Functional Properties. Betalains in Food: Occurrence, Stability, and Postharvest Modificaciones. *CRC Press.* New York. 277:290.
- Stintzing FC, Herbach KM, Mosshammer MR, Carle R, Yi W, Sellappan S, Akoh CC, Bunch R, Felker P (2005) Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *J. Agric. Food Chem.* 53(2): 442-451.
- Stintzing FC, Schieber A, Carle R (2002) Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear (*Opuntia ficus-indica* {L} Mill.) by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 50(8): 2302-2307.
- Stintzing FC, Schieber A, Carle R (2003) Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *Eur. Food Res. Technol.* 216(4): 303-311.
- Stintzing, FC, Trichterborn J, Carle R (2006) Characterisation of anthocyanin-betalain mixtures for food colouring by chromatic and HPLC-DAD-MS analyses. *Food Chem.* 94(2): 296-309.
- Tesoriere L, Butera D, Pintaudi AM, Allegra M, Livrea M (2004a) Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with vitamin C. *Am. J. Clin. Nutr.* 80(2): 391-5.
- Tesoriere L, Allegra M, Butera D, Livrea MA (2004b) Absorption, excretion and distribution of dietary antioxidant betalains in LDLs: Potential health effects of betalains in humans betalains in LDLs: potential health effects of betalains in humans 1-3. *Am. J. Clin. Nutr.* 80: 941-945.
- Vergara C (2013) *Extracción y Estabilización de Betalainas de Tuna Púrpura (Opuntia ficus-indica) Mediante Tecnología de Membranas y Microencapsulación, como Colorante Alimentario.* Tesis. Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114868>

- Von Elbe JH, Attoe E (1985) Oxygen involvement in betanine degradation - Measurement of active oxygen species and oxidation-reduction potentials. *Food Chem.* 16: 49-67.
- Von Elbe JH, Maing I, Amundson C (1974) Colour stability of betanin. *J. Food Sci.* 39: 334-337.
- Von Elbe JH, Schwartz S (1996) Colorants. En Fennema RR (Ed.) *Food Chemistry*. Dekker. Nueva York, EUA. 651-722.
- Vulić JJ, Čebović TN, Čanadanović-Brunet JM, Čeković GM, Čanadanović VM, Djilas SM, Šaponjac VTT (2014) In vivo and in vitro antioxidant effects of beetroot pomace extracts. *J. Funct. Foods* 6: 168-175.
- Wybraniec S (2005) Formation of decarboxylated betacyanins in heated purified betacyanin fractions from red beet root (*Beta vulgaris* L.) monitored by LC-MS/MS. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3483-3487.
- Xue F, Li C, Liu Y, Zhu X, Pan S, Wang L (2013) Encapsulation of tomato oleoresin with zein prepared from corn gluten meal. *J. Food Eng.* 119: 439-445.

STRUCTURE AND STABILITY OF BETALAINES

Martha Azucena Flores Mancha, Ana Luisa Rentería Monterrubio, Rogelio Sánchez Vega and América Chávez Martínez

SUMMARY

Recently, the food industry has increased the interest to replace the use of synthetic dyes with natural pigments such as betalains, which are mainly used for the red color they impart. In addition, betalains are substances that have antioxidant and anti-degenerative activity against various diseases. They are water-soluble nitrogenated pigments, betalamic acid derivatives: betacyanines (red-violet) and betaxanthines (yellow-orange). However, the use of said pigments has been restricted due to its instability to various factors, such as temperature, pH, light, water and enzymatic activity, as well as the presence of oxygen and / or metals. The aim of this review was to synthesize the advances on the stability of betalains in the presence of diverse physico-chemical factors.

ESTRUTURA E ESTABILIDADE DAS BETALAÍNAS

Martha Azucena Flores Mancha, Ana Luisa Rentería Monterrubio, Rogelio Sánchez Vega e América Chávez Martínez

RESUMO

Recentemente, a indústria alimentícia aumentou o interesse em substituir o uso de corantes sintéticos por pigmentos naturais, como as betalainas, que são utilizados principalmente para a cor vermelha que eles transmitem. Além disso, betalinas são substâncias que têm atividade antioxidante e anti-degenerativa contra várias doenças. Elas são pigmentos nitrogenados hidrossolúveis, derivados do ácido betalâmico: betacianinas (vermelho-violeta) e betaxantinas (amarelo-laranja). No entanto, o uso dos referidos pigmentos tem sido restringido por sua instabilidade a vários fatores, tais como temperatura, pH, luz, água e atividade enzimática, bem como a presença de oxigênio e / ou metais. O objetivo desta revisão é sintetizar os avanços na estabilidade que se apresentam diante de diversos fatores físico-químicos.