

***Stenocereus queretaroensis*, una cactácea nacional, fuente biológica de betalainas: una alternativa a los colorantes sintéticos**

En México existen cactus con alto potencial agrobiotecnológico; entre ellos destaca el aprovechamiento de sus metabolitos secundarios para la obtención de pigmentos naturales. Uno de estos cactus es *Stenocereus queretaroensis*, distribuido en el centro del país y cuyos frutos, denominados vulgarmente pitayas, biosintetizan altas cantidades de betalainas. Las betalainas son compuestos nitrogenados hidrosolubles, que, en comparación con otros pigmentos como antocianinas y carotenoides, sobresalen por su estabilidad fisicoquímica en procesos industriales. La aceptación de los pigmentos naturales como alternativa frente a los sintéticos se encuentra en fase de ser aceptados por las industrias para ir sustituyéndolos paulatinamente y cuidar la salud humana y el ambiente.

Palabras clave:
Antocianinas, México,
pigmentos, pitaya.

JAIME ABELARDO CEJA-LÓPEZ¹, FRANCISCO GUILLÉN-CHABLE¹,
LUIS CARLOS RODRÍGUEZ ZAPATA² Y ENRIQUE
CASTAÑO DE LA SERNA^{1*}

¹Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

²Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

*enriquec@cicy.mx

Desde tiempos primitivos y hasta la actualidad el color ha sido un atrayente natural en la mayor parte de nuestras elecciones, desde los artículos que elegimos hasta la comida y la ropa, entre otros. La aceptación de estos objetos se ve influenciada por su color. Desde principios de la década de los años sesenta y hasta la actualidad, sigue existiendo una gran tendencia y demanda por conseguir productos que contengan características atractivas en cuanto a color. Por lo anterior es que se hace uso de agentes químicos como aditivos y hasta colorantes de origen sintético para la obtención de diferentes colores de interés industrial. Entre otras razones, el uso de estas prácticas se debe a su bajo costo de producción y la buena estabilidad que poseen (Mathias y Ah-Hen 2014). No obstante, con el pasar del tiempo, estas prácticas se han venido restringiendo, hasta el punto de solo contar con un limitado espectro de colores; además, instituciones importantes como la FDA (Food and Drug Administration de los Estados Unidos), sugieren que estos colorantes son potencialmente nocivos para la salud y bienestar humano (Carmona 2013, Kreser y Hernández 2020, Velázquez 2012, Mota *et al.* 2021). Ahora, ¿cuál es el motivo de seguir consumiendo estos colorantes dañinos para nuestra salud? La respuesta a esa pregunta es: las escasas alternativas de pigmentos naturales con características favorables a los procesos industriales siguen sin satisfacer los criterios de las industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria, entre otras.

@CICYoficial    

 GOBIERNO DE
MÉXICO

    gob.mx

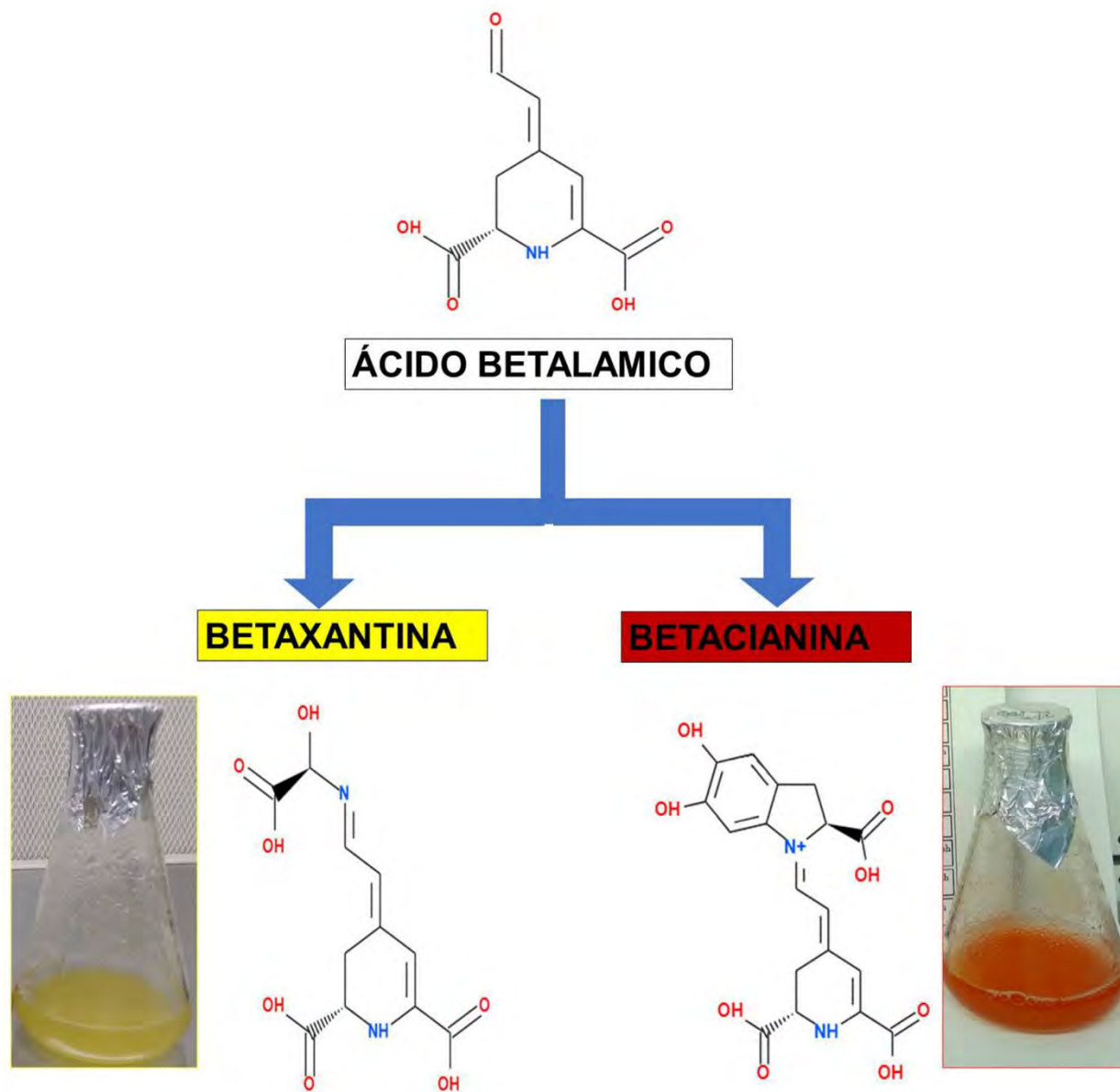


Figura 1. Subdivisión de betalainas y sus estructuras químicas a partir de cromóforo central de ácido betalámico: Células en suspensión de *Stenocereus queretaroensis* (pitaya) betaxantinas (amarillas) y betacianinas (rojos) (Fotografía: Enrique Castaño).

Gran parte de los colores de la naturaleza son resultado del metabolismo secundario en plantas, los cuales tienen una gran importancia funcional en organismos y en nuestras diversas industrias (Fernández *et al.* 2012). En cambio, los colores observados en rocas dependen del tipo de mineral integrado en estas y no representan un resultado de metabolismo secundario (Valente 2006). Cuando la luz incide sobre un pigmento, éste capta ciertas longitudes de onda y refleja otras, particulares para ese pigmento,

lo que resulta en una diversa gama de colores considerando que hay una gran diversidad de pigmentos. Los pigmentos vegetales son metabolitos secundarios, con la excepción de los pigmentos fotosintéticos como la clorofila que se encuentra en todos los organismos autótrofos y es la responsable de absorber la luz solar necesaria en la fotosíntesis. (Martínez Girón *et al.* 2016).

Existen pigmentos naturales pertenecientes a grupos liposolubles (solubles en grasas) e hidrosolubles

(solubles en agua), como por ejemplo los carotenoides y antocianinas respectivamente. Esta clase de colorantes naturales han sido utilizados en algunos productos y alimentos perecederos, aunque es importante mencionar que estos colorantes se excluyen como materia prima prioritaria debido a sus características frente a factores como pH, y temperatura, y más relevantemente, porque son de baja estabilidad en los procesos industriales (Zhoh 2010).

Las betalainas son pigmentos nitrogenados solubles en agua (hidrosolubles) derivados del aminoácido tirosina y pueden ser definidos químicamente por la inclusión del ácido betalámico como el cromóforo central (Tanaka *et al.* 2008). Los cromóforos son la parte o conjunto de átomos de una molécula responsable de su color. Las betalainas se subdividen en betacianinas (rojas) y betaxantinas (amarillas) (Figura 1).

A comparación de otros pigmentos como las antocianinas y carotenoides, las betalainas tienen cualidades superiores, prometedoras para su aplicación en la industria; entre estas destacan una alta solubilidad en agua, alta estabilidad, variabilidad de color con base a condiciones de pH (3-7), además de la atractiva característica de ser inodoras e insípidas (Neelwarne 2012). Las betalainas no sólo se definen por estas características, sino también por las cualidades bioactivas que presentan como anticancerígenos y antioxidantes (Guzmán 2021). En la actualidad muchos gobiernos, en particular en Europa, han fomentado el uso de compuestos orgánicos y naturales, tanto en ropa como en alimentos. La utilización de compuestos artificiales para teñir productos se ha limitado y se tiene ahora una predilección por compuestos naturales, como es el caso de las betalainas.

En el reino vegetal se encuentran una gran diversidad de fuentes biológicas de betalainas, destacando entre estas el orden Caryophyllales en el cual se encuentran las pitahayas (*Hilocereus spp.*), los amarantos (*Amaranthus spp.*), el betabel (*Beta vulgaris* L.) y la pitaya silvestre (*Stenocereus queretaroensis* (F.A.C. Weber) Buxb.). La pitaya silvestre pertenece a un grupo de 24 especies, donde todas son productoras de frutos comestibles y se distribuyen en gran parte del territorio mexicano, a tal punto de que algunas regiones han adoptado su cultivo con fines comerciales (Arriaga Ruiz *et al.* 2015).

Las cactáceas pertenecen a un grupo de plantas con características morfológicas variadas: arbores-

centes, columnares, globulares articuladas y barreli-formes. Sus características las catalogan como angiospermas suculentas y su peculiar metabolismo fotosintético CAM les confiere una gran adaptación a ambientes extremos, particularmente aquellos donde hay escasez de agua estacionalmente. En los últimos años, diversas fuentes biológicas de betalainas, entre ellas, el betabel, las tunas y la pitaya silvestre, han sido de interés para la obtención de pigmentos (Ortega-Baes *et al.* 2010). Hasta el día de hoy, se han identificado estructuralmente 75 betalainas de plantas que corresponden a 34 familias del orden de las Caryophyllales, concentradas en dos grandes clases: betacianinas y betaxantinas (Khan y Giridhar 2015). Existen 24 especies de pitayas (*Stenocereus spp.*) nativas de México, 20 son especies endémicas (Arreola 1999), y se distribuyen desde la península de Baja California pasando por la cuenca del Pacífico al estado de Chiapas, y a lo largo de la cuenca del Golfo desde el estado de Tamaulipas, Veracruz y Yucatán. Algunas de las especies más importantes de este género, desde una perspectiva socioeconómica, son: *Stenocereus marginatus* (DC.) A. Berger & Buxb., *Stenocereus stellatus* (Pfeiff.) Riccob., *Stenocereus fricii* Sánchez-Mej., *Stenocereus queretaroensis* (F.A.C. Weber) Buxb., y *Stenocereus laevigatus* (Salm-Dick) Buxb.

Stenocereus queretaroensis es una cactácea columnar arborescente con tronco bien definido que puede llegar a medir hasta ocho metros de altura. Sus ramas son cilíndricas y poseen ocho costillas prominentes. Sus flores se diferencian en las areolas de la mitad superior de las ramas. La forma de sus frutos varía entre ovoide o globosa y están cubiertos por un exocarpo suave con areolas espinosas las cuales se desprenden en su madurez fenológica durante la primavera; estos llegan a pesar entre 100 y 200 gramos y poseen semillas piriformes muy pequeñas, de color negro, su mesocarpo es jugoso y blando y van desde una coloración roja hasta formas amarillas y rara vez verdosas, dependiendo de la variedad (Figura 2).

El mesocarpo de *Stenocereus queretaroensis* contiene cantidades significativas de betalainas (Miranda-Ham *et al.* 1999). Las opciones para explorar esta fuente biológica para la extracción de pigmentos son muy atractivas; no obstante, este modelo biológico es de lento ciclo de desarrollo y debido a esto, la obtención de betalainas a partir de los frutos se ve limitada. A consecuencia de esta limitación, la adopción de sistemas de cultivos celulares *in vitro* es una



Figura 2. Morfología vegetativa de *Stenocereus queretaroensis*. **A.** Planta arborescente de *S. queretaroensis*. **B.** Flores de *S. queretaroensis* atrayente de polinizadores. **C.** Frutos ovoides de *S. queretaroensis*, con mesocarpio blando y dulce, cubiertos por areolas espinosas. (Fotografías: Carlos Valenzuela).

de las alternativas para contrarrestar este problema y abastecer la producción de pigmentos (Marienhagen y Bott 2013).

Stenocereus queretaroensis ha sido postulado como un modelo prometedor para la obtención de betalainas a partir de sus frutos. En efecto, la tendencia de los consumidores de preferir productos fabricados con compuestos naturales ha estado en incremento al reconocerse los efectos dañinos que pueden causar los compuestos de síntesis química. Esto se debe a que los sectores industriales se ven en la necesidad de ser competitivos en el mercado y a la vez estar conscientes de los efectos que podrían tener en la salud. Día a día, nosotros los consumidores conocemos mejor los posibles efectos perjudiciales de consumir productos con contenidos sintéticos.

Las limitadas opciones de pigmentos naturales y sus indeseables características de inestabilidad durante los procesos industriales son las causas por las que las industrias aún no aceptan por completo su uso; es difícil cambiar estrategias que han sido eficaces, pero no saludables, dentro de las industrias. Por lo tanto, las posibilidades de introducir una nueva estrategia resultan difícil, particularmente por razones monetarias que influirían en la toma de decisiones por las industrias. Por esto, se siguen utilizando colorantes sintéticos. Es de destacar que dentro del orden Caryophyllales, no solo las especies de *Stenocereus* representan la única fuente de betalainas, sino que existe una amplia diversidad de taxones que pueden producir betalainas. Casi todos los pigmentos de origen natural son de vida corta e inestables durante los procesos fisicoquímicos; por esta razón es urgente proponer nuevas alternativas que sean capaces

de satisfacer las necesidades de las industrias y optimizar metodologías para la obtención de una amplia gama de pigmentos naturales, llegando así a un punto de equilibrio ecológico y de sostenibilidad.

Referencias

- Arreola N.H. 1999.** Taxonomía del pitayo (*Stenocereus* (A. Berger) Riccob.). In: Pimienta-Barrios E. (Comp.). *El pitayo en Jalisco y especies afines en México*, pp. 217–234. Universidad de Guadalajara, Fundación Produce Jalisco A.C. Guadalajara, Jalisco, México. 234 pp.
- Arriaga Ruiz, M.C., Pimienta E., Neri C., Aven-
daño A., Sánchez J., Arellano L.J., Padilla
J.M., Acero J., Jiménez C., López D. y Rodrí-
guez E. 2015.** La pitaya silvestre (*Stenocereus
queretaroensis*) una alternativa alimenticia, nutri-
cional, y socioeconómica. XII encuentro, Partici-
pación de la mujer en la ciencia. Centro de Inves-
tigaciones en Óptica A.C., León, Guanajuato,
México.
- Carmona I. 2013.** De colorantes sintéticos a natura-
les en la industria alimentaria. Agrimundo Re-
porte 5. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
(ODEPA). Santiago de Chile, Chile. 6 pp.
- Fernández Estrada D., García Mañas F. y Alcaraz
A. 2012.** Pigmentos y colorantes: desde la natu-
raleza a la biotecnología. *III Certamen de Proyectos
Educativos en Ingeniería Química en la UAL*, Pp. 26.
Universidad de Almería, España.
- Guzman Zuñiga E.J. 2021.** Contenido de betalai-
nas, polifenoles totales y capacidad antioxidante
en las partes del fruto *Opuntia soehrensii* Britton &

- Rose “ayrampo”. Tesis, Ingeniero en industrias alimentarias. Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Lima, Perú. 100 pp.
- Khan M.I. y Giridhar P. 2015.** Plant betalains: Chemistry and biochemistry. *Phytochemistry* 117: 267–295.
- Kraser R.B. y Hernández S.A. 2020.** Colorantes alimentarios y su relación con la salud: ¿cómo abordar esta problemática desde el estudio de las disoluciones? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 17(1): 1-15.
- Marienhagen J. y Bott M. 2013.** Metabolic engineering of microorganisms for the synthesis of plant natural products. *Journal of biotechnology* 163(2): 166–178.
- Martínez Girón J., Martínez J.A., García Hurtado L., Cuaran J.D. y Ocampo Y.A. 2016.** Pigmentos vegetales y compuestos naturales aplicados en productos cárnicos como colorantes y/o antioxidantes: revisión. *Inventum* 11(21): 51–62.
- Mathias-Rettig K. y Ah-Hen K. 2014.** El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur* 42(2): 57–66.
- Miranda-Ham M.L., López-Gómez R., Castro-Concha L., Chrispeels A., Hernández H. y Loyola-Vargas V.M. 1999.** Betalain production in cell line of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) from immature fruits. *Phyton-International Journal of Experimental Botany* 65: 27–33.
- Mota I.G.C., Neves R.A.M.D., Nasortegcimento S.S.D.C., Maciel B.L.L., Morais A.H.D.A. y Passos T.S. 2021.** Artificial Dyes: Health Risks and the Need for Revision of International Regulations. *Food Reviews International*: 1-16.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1934694>
- Neelwarne B. (Ed.). 2012.** *Red beet biotechnology: Food and pharmaceutical applications*. Springer Science & Business Media. 443 pp.
- Ortega-Baes P., Sühling S., Sajama J., Sotola E., Alonso-Pedano M., Bravo S. y Godínez-Alvarez H. 2010.** Diversity and conservation in the cactus family. In: Ramawat K. (Ed.). *Desert plants*, pp. 157–173. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, Germany.
- Tanaka Y., Sasaki N., y Ohmiya A. 2008.** Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The Plant Journal* 54(4): 733–749.
- Valente N.L. 2006.** El color de los sedimentos. Cómo y porqué. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 14(1): 26–28.
- Velázquez J. 2012.** Problemas de salud ocasionados por los aditivos, preservativos, colorantes y sabores artificiales, hormonas y antibióticos en la alimentación industrial del mundo moderno. Universidad Interamericana de Puerto Rico.
https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/6/6710/Problemas_de_salud_ocasionados_por_los_aditivos.pdf
- Zhoh C., Kwon H. y Ahn S. 2010.** Antioxidative and antimicrobial effects to skin flora of extracts from peel of *Allium cepa* L. *Asian Journal of Beauty & Cosmetology* 8: 49–58.

Desde el Herbario CICY, 13: 199–203 (14-octubre-2021), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Germán Carnevali Fernández-Concha y José Luis Tapia Muñoz. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 14 de octubre de 2021. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura de los editores de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.