

Betalainas: pigmentos de la fruta del dragón para colorear tus alimentos **Betalains: pigments from the dragon fruit for coloring your food**

Martínez-Ramos, A. R.¹, Abadía-García, L.¹, Cardador-Martínez, A.², Amaya-Llano, S. L.*

¹Facultad de Química, Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas s/n, Las Campanas, C.P. 76010, Santiago de Querétaro, Qro.

*samayal@uaq.mx.

²Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey
Epigmenio Gonzáles 500, Fraccionamiento San Pablo, C.P. 76130, Santiago de Querétaro, Qro.

RESUMEN

El color es uno de los atributos sensoriales más importantes de un alimento y para conservar esta cualidad, en la industria se utilizan colorantes sintéticos que se han asociado con el desarrollo de ciertas enfermedades por lo que, existe un interés creciente por desarrollar colorantes de origen natural como lo son las betalainas, pigmentos que se encuentran en la pulpa y en la cáscara de la fruta del dragón, una fruta nativa de México que se ha popularizado a nivel mundial gracias a su alto valor nutricional y gran contenido de compuestos bioactivos. Esta revisión aborda de manera general los colorantes que se utilizan en la industria de alimentos. Posteriormente presenta el caso de las betalainas como colorante natural y a la fruta del dragón como fuente de obtención de estos compuestos. Finalmente, de forma breve, la extracción de estos pigmentos a partir de la fruta del dragón como alternativa para su uso como colorante comercial.

Palabras clave: betalainas, fruto del dragón, colorante natural, pigmentos, aprovechamiento de subproductos agroindustriales.

ABSTRACT

Color is one of the most important sensory attributes of foods and to preserve this quality, the industry uses synthetic dyes that have been associated with the development of certain diseases, which is why there is a growing interest in developing dyes of natural origin. such as betalains, pigments found in the pulp and peel of dragon fruit, a fruit native from Mexico that has become popular worldwide thanks to its high nutritional value and high content of bioactive compounds. This review generally addresses the colorants used in the food industry. Subsequently, it presents the case of betalains as a natural dye and dragon fruit as a source of obtaining these compounds. Finally, briefly, the extraction of these pigments from dragon fruit as an alternative for its use as a commercial dye.

Keywords: betalains, dragon fruit, natural dye, pigments, use of agroindustrial byproduct

1. Coloreando los alimentos con aditivos

A lo largo de los años, los avances tecnológicos en alimentos han permitido proporcionar al consumidor productos asequibles, nutritivos, ricos y seguros. Los aditivos desempeñan un papel crucial y su uso es fundamental para reducir la pérdida de los alimentos, extender su vida de anaquel y desarrollar nuevas formulaciones cumpliendo así con las demandas del mercado (Novais *et al.*, 2022). Éstos son sustancias que se añaden a los alimentos para conservar o mejorar ciertas cualidades, entre ellas el color, una de las características más valoradas cuando los consumidores evalúan un producto alimenticio. El color es un parámetro sensorial relacionado con otros parámetros como el aroma, el sabor, o la textura y nos proporciona una percepción del estado, composición y calidad del alimento, por lo que influye de manera crucial a la hora de aceptar o rechazar un producto. Es por esto que no sólo los consumidores, si no la industria alimentaria busca tecnologías que garanticen un color estable durante la producción, distribución y almacenamiento de los alimentos, de manera que se garantice la calidad del producto esperada por los consumidores (Molina *et al.*, 2023).

Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Los colorantes alimentarios pueden clasificarse de acuerdo a su origen en naturales o sintéticos, orgánicos e inorgánicos (Novais *et al.*, 2022). Desde la antigüedad, los romanos y egipcios utilizaron colorantes inorgánicos naturales para mejorar la apariencia de los alimentos; sin embargo, la ciencia y el desarrollo de tecnología en alimentos permitió la obtención de colorantes tanto naturales como sintéticos, orgánicos e inorgánicos (Fig. 1) (Molina *et al.*, 2023).

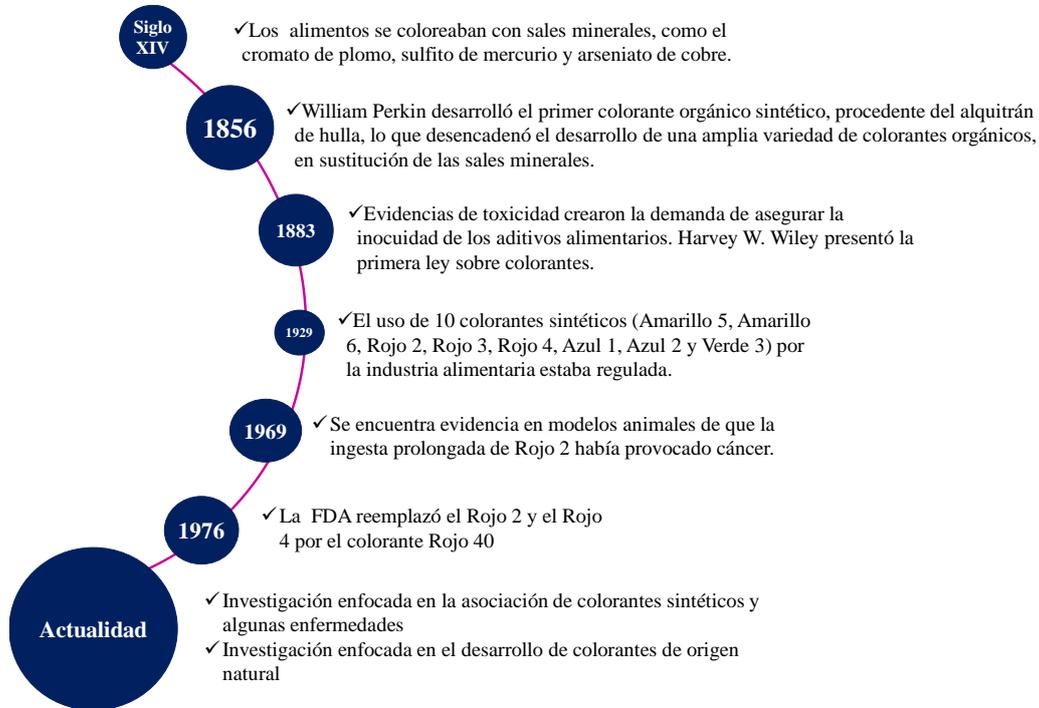


Fig. 1. Acontecimientos relevantes en la historia de los colorantes alimentarios (Molina *et al.*, 2023; Renita *et al.*, 2023).

2. Colorantes sintéticos, un riesgo para la salud si se consumen en exceso.

Entre los colorantes naturales y los sintéticos, actualmente los más utilizados son los sintéticos, aquellos que se obtienen mediante síntesis química y no se encuentran en la naturaleza (Novais *et al.*, 2022). Los compuestos azoicos son la categoría de colorantes sintéticos producidos en mayor cantidad y su popularidad se basa en su versatilidad química, lo que da como resultado una gran cantidad de colores vibrantes que son de bajo costo, fácil acceso y estables. Sin embargo, los colorantes sintéticos tienen la gran desventaja de provocar efectos adversos para la salud (Barciela *et al.*, 2023). Epidemiológicamente se estima que la prevalencia de alergias relacionadas con colorantes en adultos es inferior al 1 %; mientras que, en niños es del 2 % (Weisbrod *et al.*, 2023). En adición, el aumento en el uso de colorantes alimentarios sintéticos durante los últimos 40 años coincide con el aumento del cáncer colorrectal de aparición temprana y dado que los alimentos ultraprocesados que lo contienen, son particularmente atractivos para los niños, existe una preocupación creciente sobre el impacto de estos colorantes en el desarrollo de este tipo de cáncer. Recientemente investigadores de la Universidad de Carolina del Sur en Estados Unidos, mostraron que, en particular el Rojo 40, daña el ADN, causa disbiosis (desequilibrio en el tipo y/o número de colonias microbianas pertenecientes a una microbiota intestinal sana) e induce una respuesta inflamatoria de bajo grado en el colon y en el recto. Esta inflamación crónica puede contribuir al desarrollo de cáncer de colon (Zhang *et al.*, 2023). El Rojo 40 (E129, Rojo Allura AC, Rojo 17) es el colorante rojo más utilizado en nuestro país en alimentos como yogur, gelatina, postres, helado, dulces, mermeladas, cereales, refrescos, salsas, snacks, cárnicos y productos de panadería (Renita *et al.*, 2023).

Además del Rojo 40, el Rojo 7 (Ponceau 4R o Rojo Cochinilla), el Amarillo ocaso (Amarillo 6, Amarillo Ácido 17 o Amarillo Crepúsculo) y la Tartracina (Amarillo 5, TZ, Amarillo Ácido 23 o Amarillo Alimentario 4), son los más utilizados en alimentos tales como refrescos, néctares y jugos, caramelos, gelatinas, mermeladas, salsas, galletas y snacks entre otros y cubren el 65% del mercado de los colorantes comerciales (Fig. 2). Si se consumen en exceso se han reportado hipersensibilidad, alergias, esclerosis múltiple, intolerancia alimentaria, falta de atención, enfermedades cardíacas, asma, náuseas, daño cerebral, toxicidad reproductiva, neurotoxicidad y dolor de cabeza (Renita *et al.*, 2023).



Fig. 2. Los colorantes orgánicos sintéticos más utilizados en la industria de alimentos. Rojo 40, Rojo 7, Tartracina y Amarillo Ocaso (Renita *et al.*, 2023).

Cabe destacar que los alimentos procesados deben contener como máximo la dosis de Ingestión Diaria Admisible (IDA), que es una estimación sobre la cantidad de aditivo alimentario en relación con el peso corporal que una persona puede ingerir diariamente durante toda la vida sin riesgo apreciable para su salud. Esta estimación fue efectuada por el Comité Mixto de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y los expertos en aditivos alimentarios de la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés). En el caso del Rojo 40 esta dosis va de los 25 mg/kg en carnes hasta los 500 mg/kg en alimentos preparados a base de cereales o semillas; para el Rojo 7 las dosis van de los 50 mg/kg en dulces, helados y productos de panificación hasta los 500 mg/kg en carnes; asimismo, para el Amarillo Ocaso van de los 12 mg/kg en productos lácteos hasta los 500 mg/kg en carnes y finalmente para la Tartracina van de los 30 mg/kg para productos procesados de la pesca hasta los 600 mg/kg para tortillas de maíz nixtamalizado y tostadas (DOF, 2012). Como consumidores podemos conocer si los productos que consumimos contienen estos colorantes al revisar los ingredientes de la etiqueta; sin embargo, no podemos conocer la dosis, y por lo regular los efectos adversos para la salud aparecen al superar la dosis de IDA.

3. Colorantes naturales en alimentos, una alternativa para cuidar la nuestra salud

Como consecuencia, actualmente varias investigaciones se encuentran enfocadas en el desarrollo de colorantes naturales que además de pigmentar, poseen diversas propiedades biológicas que pueden contribuir a retrasar o evitar enfermedades. Además, los colorantes naturales ofrecen una mayor sostenibilidad ambiental pueden ser extraídos de residuos agroindustriales (ej. cáscaras de frutas en la producción de jugos) y poseen otras funciones tecnológicas como la conservación, lo cual resulta una característica de gran interés en un aditivo (Barciela *et al.*, 2023).

Estos colorantes se pueden extraer de plantas, animales, microorganismos o sustancias minerales y se pueden clasificar en tres grupos principales de acuerdo a su estructura química: el primero se compone de flavonoides siendo las antocianinas las más conocidas, estas se encuentran exclusivamente en frutas y verduras. El segundo grupo incluye las clorofilas, y están presentes principalmente en verduras (hojas, flores y tallos). El tercer grupo representa compuestos carotenoides que se encuentran principalmente en vegetales, algas y bacterias. Además de estos tres, existen también la curcumina procedente de la cúrcuma (*Curcuma longa L.*) y las ficocianinas que se encuentran en la espirulina, un alga unicelular (Carreón-Hidalgo *et al.*, 2022; Molina *et al.*, 2023). Finalmente, las betalaínas, que se encuentran en frutos, flores y raíces como el betabel. En la Fig. 3 se muestran estos compuestos, los tonos que proporcionan como colorantes y las fuentes naturales en donde se encuentran.



Fig. 3. Compuestos colorantes y fuentes naturales en donde se encuentran (Santos & Bicas *et al.*, 2021; Carreón-Hidalgo *et al.*, 2022; Molina *et al.*, 2023).

4. Betalaínas como colorante natural

Las betalaínas han cobrado gran interés para su uso como colorante ya que proporcionan una gama de tonos que van del amarillo al rosa, rojo y morado, y se mantienen estables en un pH de 3 a 7, lo que les da ventaja sobre las antocianinas que pierden su estabilidad en un pH mayor a 3. Esto significa que las betalaínas son adecuadas para utilizarse en una gama más amplia de productos alimenticios (Tanaka *et al.*, 2008; Esatbeyoglu *et al.*, 2015).

Las betalaínas son compuestos sintetizados en ciertas especies de plantas pertenecientes al orden *Caryophyllales*, entre estas se encuentran el betabel, el amaranto, la bouganvilia y las cactáceas como la tuna, el garambullo, la pitaya y la fruta del dragón (Fig. 4) (Naqvi & Husnain, 2020). Estos compuestos actúan en la planta protegiéndola de los rayos UV y participan en la polinización y dispersión de las semillas, al atraer aves e insectos (Tanaka *et al.*, 2008).



Fig. 4. Especies vegetales en donde se encuentran las betalaínas

Las betalaínas, además de ser responsables de una amplia gama de tonalidades han mostrado tener propiedades antimicrobianas, anticancerígenas, antioxidantes y antivirales (Molina *et al.*, 2023). Estudios en líneas celulares y en modelos animales, han reportado que las betalaínas actúan contra el estrés oxidativo y varios tipos de cáncer. También, se ha demostrado mediante estudios clínicos y en animales, su efecto antiinflamatorio, la mejora de la función cognitiva y su efecto contra la demencia y el Alzheimer (Hadipour *et al.*, 2020; Naqvi & Husnain, 2020). A pesar de esto, es importante enfatizar que las concentraciones de betalaínas utilizadas para lograr estos beneficios son más altas que las utilizadas con fines colorantes (Martins *et al.*, 2017).

Es por esto que, en años recientes ha despertado el interés por fuentes de extracción de betalaínas, especialmente las cactáceas, las cuales se pueden cultivar fácilmente en zonas áridas o secas a bajo costo y, además, podrían utilizarse como alimento para rumiantes incluso después de la extracción de los pigmentos (Sadowska-Bartosz & Bartosz, 2021). Recientemente una de las más populares para su consumo a nivel mundial, es la fruta del dragón.

5. Fruta del dragón o pitahaya

La fruta del dragón o pitahaya, es la fruta de diferentes especies del género *Hylocereus* de la familia *Cactaceae*. Las más populares son las de cáscara rosada y pulpa blanca y la de cáscara rosada y pulpa rosa, roja o morada. La planta crece sobre otro vegetal o tutor como soporte y sus tallos tienen forma triangular, son turgentes, y de color verde (Fig. 5) (Luo *et al.*, 2014; Verona-Ruíz *et al.*, 2020).

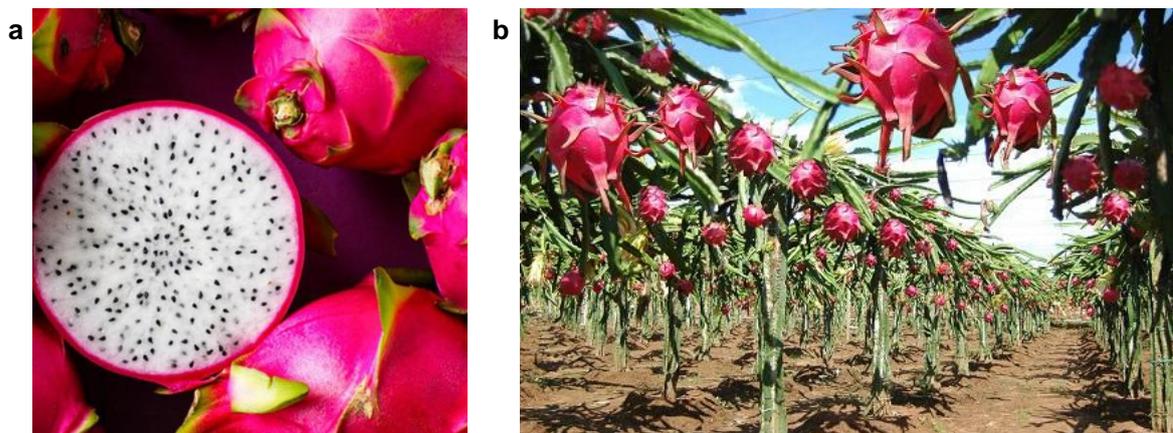


Fig. 5. Fruta del dragón. a: cáscara rosada y pulpa blanca; b: cultivo comercial.

La pitahaya es una especie nativa de México, incluso se ha mencionado en documentos históricos como una fruta popular entre los aztecas (Kim *et al.*, 2011). Aunque esta planta es originaria de

América, actualmente los principales productores a nivel mundial son China, Malasia y Vietnam; mientras que, a nivel nacional los principales productores son Yucatán y Quintana Roo. A pesar de que en México la producción comercial de pitahaya es relativamente baja, esta planta se encuentra de manera silvestre en Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Jalisco, Colima, Michoacán, Puebla, Estado de México, Veracruz, Oaxaca y Tabasco (Montesinos-Cruz *et al.*, 2015).

La pitahaya se ha popularizado debido a su alto valor nutricional que incluye fibra dietaria, proteína y ácidos grasos insaturados como el oleico (Omega 9) y el linoleico (Omega 6), varias vitaminas y minerales necesarios para una adecuada alimentación, y compuestos bioactivos, a los cuales se atribuye su alta capacidad antioxidante y beneficios para la salud humana (

Tab. 1) (Jiang *et al.*, 2021; Lin *et al.*, 2022; Verona-Ruíz *et al.*, 2020).

Tab. 1. Composición nutrimental y fitoquímica de la fruta del dragón.

<i>Nutriente</i>	<i>Concentración</i>	<i>Referencias</i>
Contenido de humedad (g/ 100 g)	84.30 - 89	Elmarzugi <i>et al.</i> , 2016; Mercado-Silva <i>et al.</i> , 2018; Arivalagan <i>et al.</i> , 2021; Attar <i>et al.</i> , 2022
Proteína (g/100 g)	0.50 - 2.27	
Grasa (g/100 g)	0.00 - 0.40	Elmarzugi <i>et al.</i> , 2016; Attar <i>et al.</i> , 2022
Ácido palmítico (mg/100 g)	62.74	Attar <i>et al.</i> , 2022
Ácido oleico (mg/100 g)	107.04	
Ácido linoleico (mg/100 g)	252.65	
Ácido esteárico (mg/100 g)	27.33	
Carbohidratos (%)	6.26 - 11.00	Elmarzugi <i>et al.</i> , 2016; Arivalagan <i>et al.</i> , 2021; Attar <i>et al.</i> , 2022
Fibra dietaria (%)	0.70 - 3.00	Elmarzugi <i>et al.</i> , 2016; Mercado-Silva <i>et al.</i> , 2018; Arivalagan <i>et al.</i> , 2021; Attar <i>et al.</i> , 2022
Cenizas (%)	0.54 - 0.79	Mercado-Silva <i>et al.</i> , 2018; Arivalagan <i>et al.</i> , 2021; Attar <i>et al.</i> , 2022
Calcio mg/100 g	0.04 - 45.70	Elmarzugi <i>et al.</i> , 2016; Mercado-Silva <i>et al.</i> , 2018; Arivalagan <i>et al.</i> , 2021; Attar <i>et al.</i> , 2022
Hierro mg/100 g	0.00 - 155	
Fosforo mg/100 g	0.003 - 29.90	
Potasio mg/100 g	3.09 - 193	Arivalagan <i>et al.</i> , 2021; Attar <i>et al.</i> , 2022
Magnesio mg/100 g	0.00 - 45.70	

<i>Manganeso mg/100 g</i>	0.108 - 2.23	
<i>Vitamina B1 (tiamina) mg/100 g</i>	0.0022 - 0.04	Elmarzugi <i>et al.</i> , 2016; Mercado-Silva <i>et al.</i> , 2018; Arivalagan <i>et al.</i> , 2021
<i>Vitamina B2 (riboflavina) mg/100 g</i>	0.0019 - 0.05	
<i>Vitamina B3 (niacina) mg/100 g</i>	0.16 - 0.20	Elmarzugi <i>et al.</i> , 2016; Mercado-Silva <i>et al.</i> , 2018
<i>Vitamina B5 (ácido pantoténico) mg/100 g</i>	0.045 - 0.049	Arivalagan <i>et al.</i> , 2021
<i>Vitamina C mg/100 g</i>	4.71 - 20.5	Elmarzugi <i>et al.</i> , 2016; Arivalagan <i>et al.</i> , 2021
<i>Vitamina E mg/100 g</i>	0.075 - 0.10	Arivalagan <i>et al.</i> , 2021
<i>Vitamina K1 mg/100 g</i>	0.030 - 0.10	
<i>Flavonoides totales (mg/100 g)</i>	1.50 – 352.00	Kim <i>et al.</i> , 2011; Suh <i>et al.</i> , 2014; Arivalagan <i>et al.</i> , 2021; Paško <i>et al.</i> , 2021; Attar <i>et al.</i> , 2022; Salam <i>et al.</i> , 2022)
<i>Polifenoles totales (mg/100 g)</i>	2.80 – 300.00	
<i>Betalainas totales (mg/100 g)</i>	5.00 – 5.33	Suh <i>et al.</i> , 2014; Paško <i>et al.</i> , 2021

En adición, se ha reportado que la cáscara de la pitahaya representa entre el 20 y 40% del peso total del fruto y es una alternativa para la recuperación de estos compuestos, a través del proceso de extracción (Mercado-Silva *et al.*, 2018). Dado que los residuos de la industria alimentaria (cáscaras, semillas, tallos, bagazo) representan aproximadamente 190 millones de toneladas por año a escala global, la cáscara de pitahaya está siendo investigada, no sólo por razones económicas y de salud, sino también por razones medioambientales (Carillo *et al.*, 2022).

6. Las betalainas de la fruta del dragón como un colorante natural

A pesar de los colores y las propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, anticancerígenas, antioxidantes y antivirales que las betalainas poseen, estas tienen la desventaja de ser más costosas y además, inestables a diferentes factores como la temperatura, el pH y la luz, es decir que se degradan y pierden su color. Es por esto que realizamos investigación relacionada no sólo con la extracción de estas moléculas, sino también con el estudio y mejoramiento de su estabilidad.

Existen diferentes maneras de obtener los pigmentos que se encuentran en fuentes naturales para ser utilizados como colorantes en la industria de alimentos, una de ellas es mediante el proceso de extracción. La extracción con disolventes es la técnica que utilizamos para separar un compuesto (ej. betalainas), de una mezcla sólida o líquida (ej. cáscara de la fruta del dragón), aprovechando las diferencias de solubilidad de los componentes de la mezcla en el disolvente. En la extracción de betalainas de la fruta del dragón, influyen factores como el tiempo y temperatura del proceso, el tipo de disolvente (agua, etanol o mezclas de ambos) y la preparación de la muestra vegetal (ej. deshidratar la cáscara antes de la extracción) (Carreón-Hidalgo *et al.*, 2022). En general, la extracción de moléculas a partir de fuentes vegetales comúnmente se caracteriza por un bajo rendimiento de extracción, es por esto que investigamos y aplicamos nuevas tecnologías capaces de mejorar este proceso.

Una vez extraídas las betalainas, para mantener su estabilidad, se aplican algunas tecnologías como la encapsulación, que es un proceso que consiste en el recubrimiento del pigmento con materiales de grado alimenticio como maltodextrina, pectina, proteínas y gomas. Esta tecnología implica mezclar el pigmento y el material de recubrimiento y alimentar un equipo de secado por aspersión con el cual la mezcla se atomiza a través de una boquilla y el agua que contiene se evapora con un flujo de aire caliente, lo que finalmente produce microcápsulas, que percibimos como el colorante en polvo (Carreón-Hidalgo et al., 2022).

Actualmente, las betalainas son utilizadas de manera comercial no sólo en la industria alimentaria sino también en la farmacéutica y cosmética. Este colorante natural se conoce como Rojo Remolacha, Rojo Betabel o Rojo E162 y su uso se encuentra regulado en México, Estados Unidos y en Europa. La fuente de obtención es el betabel (*B. vulgaris*), el cual ha sido considerado durante mucho tiempo como la única fuente de betalainas; sin embargo, el betabel, presenta ciertos inconvenientes tales como el arrastre de microorganismos del suelo que conducen a la contaminación, un sabor y/o aroma terroso adverso y una baja gama de tonalidades (Sadowska-Bartosz & Bartosz, 2021; Carreón-Hidalgo et al., 2022). Es por esto que estudiamos a la cáscara de la fruta del dragón como una fuente alternativa para la recuperación de betalainas, el mejoramiento del rendimiento en los procesos de extracción y la preservación de la estabilidad de estos pigmentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arivalagan, M., Karunakaran, G., Roy, T. K., Dinsha, M., Sindhu, B. C., Shilpashree, V. M., Satisha, G. C., & Shivashankara, K. S. (2021). Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species). *Food chemistry*, 353(129426). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129426>
- Attar, Ş. H., Gündeşli, M. A., Urün, I., Kafkas, S., Kafkas, N. E., Ercisli, S., Ge, C., Mlcek, J., & Adamkova, A. (2022). Nutritional analysis of red-purple and white-fleshed pitaya (*Hylocereus* species). *Molecules* (Basel, Switzerland), 27(3), 808. <https://doi.org/10.3390/molecules27030808>
- Barciela, P., Perez-Vazquez, A., & Prieto, M. A. (2023). Azo dyes in the food industry: Features, classification, toxicity, alternatives, and regulation. *Food and chemical toxicology*, 178, 113935. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.113935>
- Carreón-Hidalgo, J. P., Franco-Vásquez, D. C., Gómez-Linton, D. R., & Pérez-Flores, L. J. (2022). Betalain plant sources, biosynthesis, extraction, stability enhancement methods, bioactivity, and applications. *Food research international* (Ottawa, Ont.), 151, 110821. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110821>
- Diario Oficial de la Federación. (2012). ACUERDO por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias.
- Elmarzugi, N. A., Cheah, L., Eid, A., Aziz, A., & Ariffin, F. (2016). Phytochemical properties and health benefits of *Hylocereus undatus*. *Nanomedicine & nanotechnology*, 1(1), 1-10.
- Hadipour, E., Taleghani, A., Tayarani-Najaran, N., & Tayarani-Najaran, Z. (2020). Biological effects of red beetroot and betalains: A review. *Phytotherapy research: PTR*, 34 (8), 1847–1867. <https://doi.org/10.1002/ptr.6653>
- Jiang, H., Zhang, W., Li, X., Shu, C., Jiang, W., & Cao, J. (2021). Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review. *Trends in food science & technology*. 116, 199–217. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.040>
- Kim, H., Choi, H. K., Moon, J. Y., Kim, Y. S., Mosaddik, A., & Cho, S. K. (2011). Comparative antioxidant and antiproliferative activities of red and white pitayas and their correlation with flavonoid and polyphenol content. *Journal of food science*, 76(1), 38–45. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01908.x>

- Lin, X., Li, B., Wen, J., Wu, J., Tang, D., Yu, Y., Xu, Y., & Xu, B. (2022). Storage stability and *in vitro* bioaccessibility of liposomal betacyanins from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). *Molecules* (Basel, Switzerland), 27(4), 1193. <https://doi.org/10.3390/molecules27041193>
- Luo, H., Cai, Y., Peng, Z., Liu, T., & Yang, S. (2014). Chemical composition and *in vitro* evaluation of the cytotoxic and antioxidant activities of supercritical carbon dioxide extracts of pitaya (dragon fruit) peel. *Chemistry central journal*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-1>
- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Coloring attributes of betalains: a key emphasis on stability and future applications. *Food & function*, 8(4), 1357–1372. <https://doi.org/10.1039/c7fo00144d>
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya— *Hylocereus undatus* (Haw). In S. Rodrigues, E. Silva & E. Brito (Eds.), *Exotic fruits reference guide* (pp. 339–349). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>
- Molina, A. K., Corrêa, R. C. G., Prieto, M. A., Pereira, C., & Barros, L. (2023). Bioactive natural pigments extraction, isolation, and stability in food applications. *Molecules* (Basel, Switzerland), 28(3), 1200. <https://doi.org/10.3390/molecules28031200>
- Montesinos-Cruz, J. A., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M. Á., Ruíz-Herrera, G., Guevara-Hernández, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus spp.*) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos tropicales*, 36, 67-76.
- Naqvi, S. F. H., & Husnain, M. (2020). Betalains: potential drugs with versatile phytochemistry. *Critical reviews in eukaryotic gene expression*, 30(2), 169–189. <https://doi.org/10.1615/CritRevEukaryotGeneExpr.2020030231>
- Novais, C., Molina, A. K., Abreu, R. M. V., Santo-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R., Pereira, C., & Barros, L. (2022). Natural food colorants and preservatives: A review, a demand, and a challenge. *Journal of agricultural and food chemistry*, 70(9), 2789–2805. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07533>
- Paško, P., Galanty, A., Zagrodzki, P., Ku, Y. G., Luksirikul P., Weisz M., & Gorinstein S. (2021). Bioactivity and cytotoxicity of different species of pitaya fruits – A comparative study with advanced chemometric analysis. *Food bioscience*, 40(100888), 2212-4292. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100888>
- Renita, A. A., Gajaria, T. K., Sathish, S., Kumar, J. A., Lakshmi, D. S., Kujawa, J., & Kujawski, W. (2023). Progress and prospective of the industrial development and applications of eco-friendly colorants: an insight into environmental impact and sustainability issues. *Foods* (Basel, Switzerland), 12(7), 1521. <https://doi.org/10.3390/foods12071521>
- Sadowska-Bartosz, I., & Bartosz, G. (2021). Biological properties and applications of betalains. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(9), 2520. <https://doi.org/10.3390/molecules26092520>
- Salam, H. S., Tawfik, M. M., Elnagar, M. R., Mohammed, H. A., Zarka, M. A., & Awad, N. S. (2022). Potential apoptotic activities of *Hylocereus undatus* peel and pulp extracts in MCF-7 and Caco-2 cancer cell lines. *Plants* (Basel, Switzerland), 11(17), 2192. <https://doi.org/10.3390/plants11172192>
- Santos, M. C. D., & Bicas, J. L. (2021). Natural blue pigments and bikaverin. *Microbiological research*, 244, 126653. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126653>
- Suh, D. H., Lee, S., Heo, doY., Kim, Y. S., Cho, S. K., Lee, S., & Lee, C. H. (2014). Metabolite profiling of red and white pitayas (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) for comparing betalain biosynthesis and antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(34), 8764–8771. <https://doi.org/10.1021/jf5020704>
- Tanaka, Y., Sasaki, N., & Ohmiya, A. (2008). Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The plant journal: for cell and molecular biology*, 54(4), 733–749. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03447.x>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus spp.*):

- culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Sciencea Agropecuaria*. 11(3), 439–453.
- Weisbrod, D. B., Caruana, D. L., Li, D., Wan, L., & Szema, A. M. (2023). A Case report of Allergic hypersensitivity to color additives in Slurpee® Beverages. *The yale journal of biology and medicine*, 96(1), 79–82. <https://doi.org/10.59249/KGFT1011>
- Zhang, Q., Chumanevich, A. A., Nguyen, I., Chumanevich, A. A., Sartawi, N., Hogan, J., Khazan, M., Harris, Q., Massey, B., Chatzistamou, I., Buckhaults, P. J., Banister, C. E., Wirth, M., Hebert, J. R., Murphy, E. A., & Hofseth, L. J. (2023). The synthetic food dye, Red 40, causes DNA damage, causes colonic inflammation, and impacts the microbiome in mice. *Toxicology reports*, 11, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.08.006>.