

Obtención, caracterización y aplicación de colorante en polvo del betabel Extraction, characterization, and application of beetroot powder colorant

E. A. Gómez-Mondragón ^a, P. E. Acuña-Avila ^{a*}, S. Cortés-Camargo ^a

^a Universidad Tecnológica de Zinacantepec, Av Universidad 106, San Bartolo del Llano, 51361, Zinacantepec, Estado de México, México.

Resumen

Los colorantes sintéticos generan preocupación por su toxicidad y posibles efectos adversos (mutagénicos, cancerígenos, hiperactividad), impulsando la búsqueda de alternativas naturales de fuentes vegetales. Este trabajo se centró en obtener un colorante en polvo de betabel (*Beta vulgaris*) mediante extracción y secado por aspersión, utilizando maltodextrina como agente encapsulante. Mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) se confirmó la exitosa formación de microcápsulas esféricas estables de tamaño promedio de 3.82 μm ; se identificó la presencia de betacianinas con un pico de absorción característico en 537 nm mediante espectroscopía visible. El polvo mostró un bajo contenido de humedad crucial para garantizar su estabilidad y larga vida útil. Finalmente, el colorante encapsulado fue aplicado con éxito en la elaboración de gomitas comestibles, demostrando que el compuesto natural se mantuvo estable y conservó sus propiedades dentro de la matriz alimentaria, validando su potencial uso en alimentos.

Palabras Clave: Colorante natural, betabel, encapsulación, betacianinas, estabilidad.

Abstract

Synthetic colorants raise concerns due to their toxicity and potential adverse effects (mutagenic, carcinogenic, hyperactivity), driving the search for natural alternatives from plant sources. This work focused on obtaining a powdered beetroot colorant (*Beta vulgaris*) through extraction and spray drying, using maltodextrin as an encapsulating agent. Scanning Electron Microscopy (SEM) confirmed the successful formation of stable spherical microcapsules with average size of 3.82 μm ; the presence of betacyanins was identified with a characteristic absorption peak at 537 nm using visible spectroscopy. The powder showed a low moisture content, which is crucial to guarantee its stability and long shelf life. Finally, the encapsulated colorant was successfully applied in the production of edible gummies, demonstrating that the natural compound remains stable and retains its properties within the food matrix, validating its potential use in food.

Keywords: Natural colorant, beetroot, encapsulation, betacyanins, stability.

1. Introducción

Un colorante es una sustancia química (natural o sintética) que tiene la propiedad de impartir color a un material o sustrato al que se aplica, fijándose a él de manera estable (FDA, 2025). Comúnmente, la mayoría de los colorantes utilizados en la industria alimentaria provienen de síntesis químicas debido a su alto poder tintoreo y bajo costo de producción; sin embargo, en los últimos años ha crecido el debate sobre la inocuidad de estos productos, tanto en su fabricación como en el consumo ya que existen estudios que han asociado el consumo de estos colorantes con estrés oxidativo (Guerrero-Rubio *et al.*, 2023), colitis (Kwon *et al.*, 2022), cáncer (Lorne *et al.*, 2024), mutagénesis (Dos Santos *et al.*, 2022), hiperactividad en

infantes (EFSA, 2009) sustentados mediante meta-análisis (Schab *et al.*, 2004). En la digestión de colorantes artificiales con el grupo azo se producen aminas aromáticas causando una reducción de la membrana mitocondrial provocando un aumento de radicales libres (ROS) causando estrés oxidativo en las células (Velioglu *et al.*, 2019), se modifica la estructura histopatológica de intestino e hígado (Wu *et al.*, 2021); además, los colorantes sintéticos son moléculas muy estables que se transforman en epóxidos que se enlazan directamente al ADN, generando estrés oxidativo (Zingue *et al.*, 2021).

Una alternativa para ofrecer alimentos atractivos visualmente es utilizando colorante obtenidos de fuentes naturales, sin embargo, deben hacerse estudios sobre su

*Autor para la correspondencia: pedro.avila@utzin.edu.mx

Correo electrónico: 22nan0013.erickalonso@utzin.edu.mx (Erick Alonso Gómez Mondragón), pedro.avila@utzin.edu.mx (Pedro Estanislao Acuña Avila), stefani.cortes@utzin.edu.mx (Stefani Cortes Camargo)

estabilidad y su beneficio económico para que puedan reemplazar a los colorantes artificiales.

Los colorantes naturales se extraen de fuentes orgánicas como plantas, frutas, verduras y minerales para dar color a alimentos, cosméticos y otros productos. Ejemplos comunes incluyen la cúrcuma para el amarillo, el betabel para el rojo/fucsia, las espinacas para el verde y los arándanos o moras para el morado. También pueden provenir de insectos (como la grana cochinilla para el rojo) y animales marinos (como la sepia para el marrón) (Semarnat, 2021). El betabel es una hortaliza comestible de la planta cuyo nombre científico es *Beta vulgaris*, perteneciente a la familia Amaranthaceae, tiene un color rojo intenso utilizado en la cocina para preparar platillos y bebidas (Punia Bangar et al., 2023), su coloración se debe a la presencia de betacianinas y betaxantinas, entre el 75 y el 95% de betacianinas tienen la estructura denominada betanina que tiene propiedades antioxidantes y antitumorales (Krajka-Kuźniak et al., 2013), además el consumo de betabel puede tener beneficios importantes en la salud para evitar la anemia (Cipriano et al., 2022).

Sin embargo, utilizar betabel fresco puede provocar problemas de estabilidad o de contaminación bacteriana debido a su contenido de azúcares reductores, por lo que se debe secar. La alternativa económicamente más viable sería mediante el secado por aspersión (Cardona Tangarife et al., 2021), dado el alto contenido de azúcares reductores en el betabel (Kale Sawate et al., 2018) debe agregarse un material encapsulante como la maltodextrina para evitar el apelmazamiento y favorecer la transportación y almacenamiento. La maltodextrina 10DE es un carbohidrato derivado del almidón que se presenta en forma de polvo blanco, altamente soluble en agua, de sabor neutro y bajo dulzor, se utiliza industrialmente como agente espesante (Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A., 2021). La maltodextrina 10DE se usa como material de pared (agente encapsulante) porque forma una matriz protectora alrededor de los pigmentos aumentando la temperatura de transición vítrea y aumentando su estabilidad y vida útil (Gandía-Herrero et al., 2010). Recientemente se demostró que la maltodextrina es un material idóneo para encapsular extracto crudo de betabel utilizando liofilización (Flores-Mancha et al., 2020) como método de secado, pero no se encontraron reportes recientes sobre la obtención, caracterización y aplicación de estos encapsulados utilizando el secado por aspersión que es un proceso instantáneo. El objetivo principal de este trabajo fue encapsular el extracto de betabel mediante secado por aspersión para proteger sus compuestos sensibles y convertirlos en un producto en polvo estable (Soto Dagnino, M. A., 2020), evaluando sus características ópticas, morfológicas e higroscópicas para proponerlos como ingrediente en matrices alimentarias.

2. Metodología

El proceso inició con la preparación de la materia prima, ésta se adquirió en mercado local de Santa María del Monte, municipio de Zinacantepec Estado de México, al betabel limpio se le retiró la corteza y el rabo. El betabel se cortó en pedazos de 4cm para extraer el líquido con un extractor comercial convencional (Turmix 450 W, México), el líquido obtenido se filtró con papel filtro de poro medio de 25 µm.

Al jugo de betabel extraído, se agregó maltodextrina 10DE (Naima) al jugo de betabel en un 10% (m/m), ésta mezcla se homogeneizó mediante agitación magnética simple a 100 rpm para asegurar que la maltodextrina rodee y proteja las moléculas colorantes, previo al proceso de secado y aumentando su estabilidad.

Finalmente, se secó utilizando un secador por aspersión (MTST, SD-2000, China) a 140°C de temperatura con ventilación de aire a 2m³/min y una alimentación de 5mL de jugo/min, la temperatura del aire de salida fue de 90°C, se utilizó una boquilla de acero inoxidable de 0.7 mm de cono lleno con una presión de aspersión de 0.3 MPa obteniéndose al instante un polvo de color rojo. El rendimiento se evaluó en función de los sólidos totales obtenidos al final del secado respecto a los sólidos totales ingresados al secador, debido al volumen utilizado de 100 mL en cada lote de prueba (3 lotes idénticos), una cantidad importante del polvo se quedó pegada en las paredes del secador con un rendimiento del 70%.

2.1. Caracterizaciones

El polvo obtenido se caracterizó morfológicamente mediante microscopía electrónica de barrido (MEB, JEOL JSM-IT 100) utilizando un recubrimiento de oro y obteniendo imágenes a 10 keV al alto vacío.

El polvo obtenido se diluyó en agua destilada a concentraciones conocidas en g/L para obtener espectros UV-Vis (HACH 6000) en un intervalo de 350-650 nm y resolución de 0.5 nm con una celda de cuarzo de 1 cm de paso óptico y se comprobó su linealidad.

Se obtuvo el espectro de infrarrojo (Spectrum Two FT-IR Spectrometer FTIR, Perkin Elmer) directamente del polvo obtenido de 4000 a 500 cm⁻¹ con resolución de 1cm⁻¹ y 16 escaneos.

Se evaluó la velocidad de absorción de humedad, dejando el polvo totalmente seco en una cámara cerrada con una solución saturada de nitrito de sodio (NaNO₂) midiendo con un higrómetro (Uplayteck) por dos horas condiciones de 60% de HR y una temperatura de 20°C.

2.2. Matriz alimenticia

Se formuló un producto a base de gnetina tipo gomita conforme a las proporciones de la Tabla 1.

Tabla 1. Proporciones para elaboración de producto alimenticio a base de gnetina

Ingrediente	g/100g de producto
Gnetina Bloom 280	16.959
Agua	48.4500
Azúcar	33.919
Esencia sabor fresa	0.634
Colorante natural obtenido	0.038

El agua se dividió en dos proporciones iguales, una se calentó hasta 80°C y la otra permaneció a temperatura ambiente. En el agua a temperatura ambiente se hidrató la gnetina por 5 minutos, y una vez hidratada se agregó el agua caliente y el resto de los ingredientes mezclándolos durante 5 minutos con un agitador de vidrio a 60 rpm hasta obtener una mezcla homogénea, la mezcla se vertió en moldes y se dejó enfriar a

temperatura ambiente antes de almacenarla en el refrigerador a 4 ± 1 °C por 15 días para observar su estabilidad y aspecto.

3. Resultados

Se obtuvo un polvo de color rojizo, formado por cápsulas casi esféricas con tamaños en un intervalo entre 1 y 7 μm de diámetro (Figura 1), con un tamaño promedio de 3.82 μm con distribución normal y desviación estándar de 1.38 μm ($n=25$), con tendencia a que las esferas más pequeñas tienden a aglomerarse para formar estructuras esféricas de mayor tamaño. En microscopías no mostradas, a medida que el polvo adsorbe humedad del ambiente, las moléculas de agua ocupan sitios hidrofílicos de las cápsulas y las cápsulas se fusionan observando un aumento de tamaño considerable, por lo tanto estos cambios de tamaño dependen de la higroscopicidad de la microcápsulas que a su vez depende del tamaño de las microcápsulas, de su humedad inicial y de los grupos funcionales polares que interactúan con la humedad del ambiente; además, se puede controlar el tamaño de las microcápsulas con las condiciones de almacenamiento (Ng *et al.*, 2022). Mediante microscopía se corroboró la existencia de microcápsulas libres de fracturas, roturas, cápsulas vacías con huecos o con poros asegurando la calidad del polvo donde el colorante quedó protegido. Las características morfológicas de las microcápsulas obtenidas dependen de las condiciones de la mezcla previa al secado y de las condiciones del secado, en el presente trabajo no se evaluó el efecto del uso de una mayor cantidad de material de pared, ni de la velocidad del secado, sin embargo, las microcápsulas descritas marcan un importante referente, pues un tamaño menor de las mismas puede poner en riesgo la integridad de la microcápsula por aumentar el área de interacción con el ambiente, y un tamaño mayor es indicativo de mayor contenido de humedad susceptible a degradación microbiana, o cápsulas vacías o estructuras colapsadas podrían indicar una mayor cantidad de material de pared que no está protegiendo al extracto colorante.

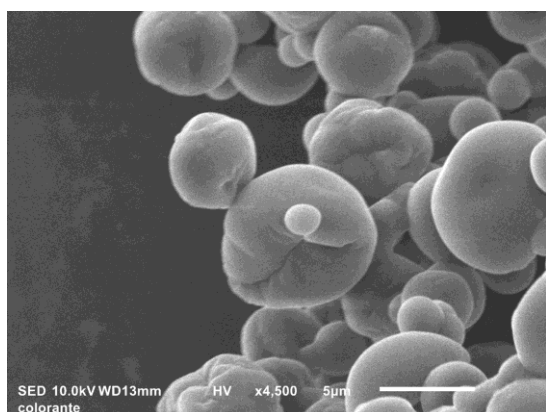


Figura 1. Microscopía electrónica de barrido de colorante natural en polvo obtenido con jugo de betabel y maltodextrina.

En la Figura 2 se muestran las soluciones del colorante en agua destilada en concentraciones de 0.4, 0.6, 0.8 y 2 g/L. La concentración del colorante no produjo efectos batocrómicos ni hipsocrómicos, con dos picos bien identificables, el más intenso a 537 nm de longitud de onda correspondiente a las betacianinas y otro a 484 nm relacionado con las betaxantinas coincidiendo con el intervalo reportado por Maraño-Ruiz *et*

al. (2011) de 540 nm para betacianinas rojas y 480 nm para betaxantinas amarillas. El polvo obtenido contiene ambas betalaínas, con una mayor absorbancia para las betacianinas rojas. Se determinó que la absorbancia es linealmente dependiente a la concentración del colorante disuelto en agua con un coeficiente de correlación lineal $R^2=0.9999$, y una pendiente de 0.494 (Figura 6).

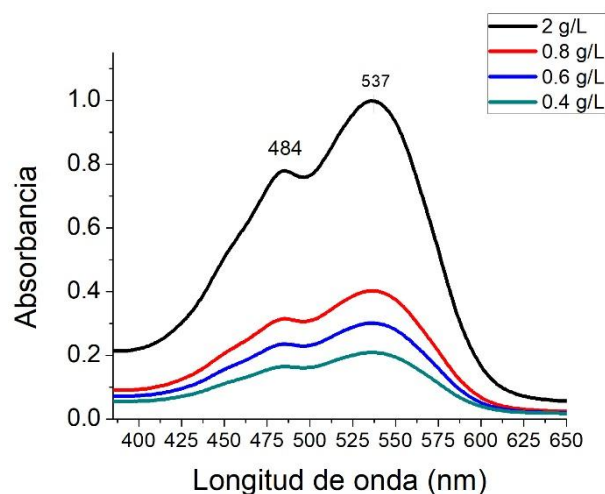


Figura 2. Espectros UV-Vis de soluciones del colorante obtenido en agua.

Debido a que los colorantes naturales pueden tener modificaciones ópticas dependiendo del pH en el que se encuentra, se observaron los cambios en el colorante en diferentes pHs (Figura 3). Se determinó que el aumento de acidez provoca efectos batocrómicos aumentando la longitud de onda de las betacianinas y disminuyendo la absorbancia del colorante tornando las soluciones hacia tonos morados; mientras que un ligero aumento en la basicidad hidroliza a las betaxantinas amarillas y aumenta la longitud de onda de las betacianinas tornando la solución a un color café. A pH alto, de 13, la solución se tornó de color amarillo debido a la hidrólisis del enlace aldímico generando ácido betalámico con un pico de absorción en 425 nm (Herbach *et al.*, 2006). Debido a que la mayoría de las matrices alimenticias oscila entre pHs de 4.0 y 7.0, el colorante es útil para obtener tonos rojo-violetas visualmente atractivos, estables en condiciones de acidez comunes sin observar degradación o cambios estructurales. Este comportamiento de betacianinas coincide con lo reportado por Gao *et al.* (2022) para las betacianinas extraídas de la fruta del dragón.

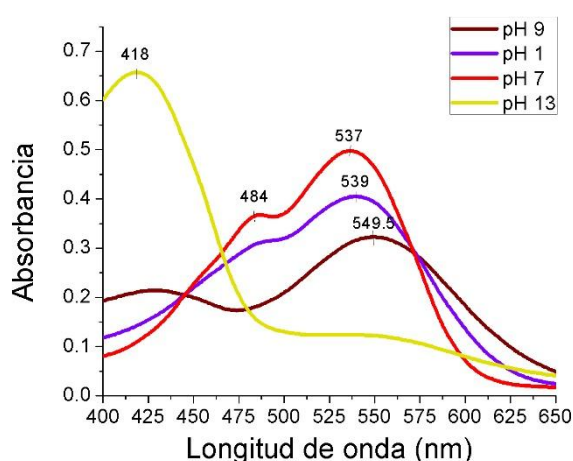


Figura 3. Espectros UV-Vis de soluciones del colorante obtenido en agua a diferentes pHs.

Se comparó la espectroscopia infrarroja del colorante obtenido con el material encapsulante (Figura 4), la similitud en los picos de absorción de acuerdo con el análisis comparativo del software Spectrum fue del 99% debido a la coincidencia de los picos de mayor absorción, por lo que las señales obtenidas corresponden principalmente a moléculas orgánicas correspondiente a azúcares por ser los principales componentes del jugo de betabel y de la maltodextrina, por lo que abundan señales del grupo hidroxilo en 3279 cm^{-1} , señales de C-H en 2921 cm^{-1} , carbonilo en 1618 cm^{-1} , y de los enlaces C-O-C muy intensos en 1037 y 948 cm^{-1} . Existen reportes que mencionan que las betalaínas representan hasta el 0.2% del peso fresco del betabel (Coy-Barrera *et al.*, 2020) y aproximadamente un 0.8% de su peso seco (Kale-Sawate *et al.*, 2018) por lo que la vibración en 1624 cm^{-1} del enlace imina C=N correspondiente a los pigmentos alcaloides como las betacianinas y las betaxantinas tiende a ser débil o a confundirse con las señales del grupo carbonilo (C=O) abundante en azúcares reductores y almidones que componen entre el 60% y el 80% del peso seco, tampoco se observaron señales atribuibles a aminoácidos que son parte de los procesos bioquímicos para la formación de las betalaínas.

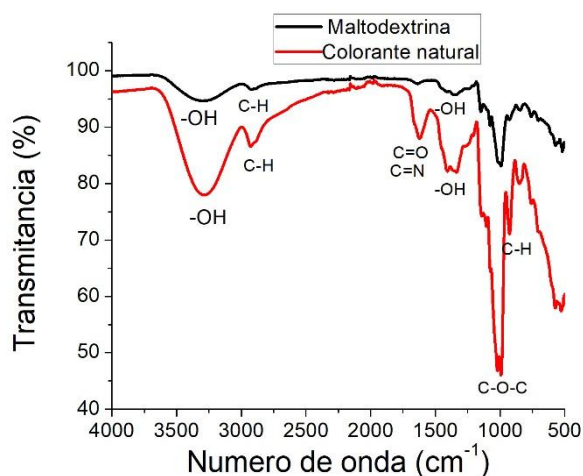


Figura 4. Espectros de infrarrojo del colorante obtenido comparado con el material encapsulante.

También se evaluó la capacidad del colorante en polvo para absorber agua con el objetivo de evaluar su estabilidad en el ambiente (Figura 7). En los primeros 100 minutos de exposición el polvo adsorbió humedad con tendencia lineal a una velocidad de 0.1% por minuto debido a la rápida formación de los puentes de hidrógeno en las regiones hidrofílicas que al estar en contacto con las moléculas de agua quedan retenidas hasta saturar los poros, después las moléculas de agua penetran al interior de la fase sólida por un fenómeno de difusión de acuerdo con el modelo de difusión de Fick, hasta alcanzar el equilibrio termodinámico (Melquíades *et al.*, 2009) alcanzando un 17% de humedad, mayor a lo reportado por Yata Franco *et al.*, (2025) que utilizó un 20% de maltodextrina. El comportamiento de adsorción descrito depende de diversos factores, tanto del material como de la cantidad de maltodextrina, así como la humedad inicial del material y del ambiente, y la temperatura, es necesario hacer estudios más profundos para predecir el comportamiento del polvo en diversas condiciones de almacenamiento.

Finalmente, se formuló un producto alimenticio modelo a base de grenetina, azúcar y saborizante con el fin de evaluar la estabilidad del colorante encapsulado en una matriz gelificada (Figura 5). Las muestras se almacenaron en refrigeración a $4 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 15 días en recipientes cerrados. La estabilidad fue evaluada mediante inspección visual, sin observarse sinéresis, exudado, separación de fases ni cambios evidentes de color durante el periodo de almacenamiento. Es importante señalar que esta evaluación fue cualitativa y bajo condiciones controladas, por lo que estudios adicionales cuantitativos (colorimetría, pH o análisis de humedad) serían necesarios para una caracterización más completa de la estabilidad.



Figura 5. Producto alimenticio a base de grenetina con colorante natural a base de betabel 15 días después.

4. Conclusiones

Se obtuvo un colorante en polvo de $3.82\text{ }\mu\text{m}$ de tamaño promedio a base de jugo de betabel y maltodextrina mediante secado por aspersión; presentó dos picos de absorbancia correspondientes a la presencia de betaxantinas y betacianinas, con respuesta lineal entre la concentración y la absorción con buena estabilidad entre pH 4 y 7 con soluciones entre tonos rojos y violetas. No se observó mediante espectroscopia infrarroja el grupo imina C=N correspondiente a las betalaínas, sobreponiéndose las señales correspondientes a la maltodextrina y los azúcares que acompañan al extracto crudo del betabel. El producto obtenido no se apelmazó estando en un recipiente hermético, sin embargo, es altamente hidrofílico, y se disuelve fácilmente. Se evaluó cualitativamente sin modificaciones su estabilidad en una matriz de grenetina a 4°C .

El presente trabajo sienta las bases para optimizar el proceso, evaluar la eficiencia de encapsulación con otros

materiales de pared y mejorar los estudios de adsorción del colorante obtenido.

Referencias

- Cardona Tangarife, D. P., Patiño Arias, L. P., & Ormaza Zapata, A. M. (2021). Technological aspects of the microencapsulation bioactive food compounds by spray-drying. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), e1899. Epub January 01, 2021. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol22num1art:1899>
- Coy-Barrera, E. (2020). Analysis of betalains (betacyanins and betaxanthins). In Elsevier eBooks (pp. 593–619). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816455-6.00017-2>
- Santos, J. R. D., De Sousa Soares, L., Soares, B. M., De Gomes Farias, M., De Oliveira, V. A., De Sousa, N. a. B., Negreiros, H. A., Da Silva, F. C. C., Peron, A. P., Pacheco, A. C. L., Marques, M. M. M., Gonçalves, J. C. R., Montenegro, R. C., Islam, M. T., Sharifi-Rad, J., Mubarak, M. S., De Melo Cavalcante, A. a. C., & De Castro E Sousa, J. M. (2022). Cytotoxic and mutagenic effects of the food additive tartrazine on eukaryotic cells. *BMC Pharmacology and Toxicology*, 23(1), 95. <https://doi.org/10.1186/s40360-022-00638-7>
- EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS); Scientific Opinion on the re-evaluation of Allura Red AC (E 129) as a food additive on request from the European Commission. *EFSA Journal* 2009; 7(11):1327. [39 pp.]. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1327>
- Human Foods Program. (2026, February 5). Color additives - information for consumers. U.S. Food and Drug Administration; FDA. <https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/color-additives-information-consumers>
- Flores-Mancha, M. A., Ruíz-Gutiérrez, M. G., Sánchez-Vega, R., Santellano-Estrada, E., & Chávez-Martínez, A. (2020). Characterization of betabel extract (*Beta vulgaris*) encapsulated with maltodextrin and inulin. *Molecules*, 25(23), 5498. <https://doi.org/10.3390/molecules25235498>
- Gandía-Herrero, F., Jiménez-Atiéndar, M., Cabanes, J., García-Carmona, F., & Escribano, J. (2010). Stabilization of the Bioactive Pigment of Opuntia Fruits through Maltodextrin Encapsulation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(19), 10646–10652. <https://doi.org/10.1021/jf101695f>
- Gao, L., Liu, P., Liu, L., Li, S., Zhao, Y., Xie, J., & Xu, H. (2022). κ -carrageenan-based pH-sensing films incorporated with anthocyanins or/and betacyanins extracted from purple sweet potatoes and peels of dragon fruits. *Process Biochemistry*, 121, 463–480. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.07.019>
- Gómez Cipriano, J., Zafra Rojas, Q. Y., Cruz Cansino, N. del S., Martínez Román, M. E., Ramírez Moreno, E., & García Rosales, R. U. (2022). Uso del betabel (*Beta vulgaris*) como tratamiento alternativo en la anemia ferropénica. *Educación Y Salud Boletín Científico Instituto De Ciencias De La Salud Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo*, 10(20), 160–166. <https://doi.org/10.29057/icsa.v10i20.7743>
- Guerrero-Rubio, M. A., Hernández-García, S., García-Carmona, F., & Gandía-Herrero, F. (2023). Consumption of commonly used artificial food dyes increases activity and oxidative stress in the animal model *Caenorhabditis elegans*. *Food Research International*, 169, 112925. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112925>
- Herbach, K. M., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Betalain stability and degradation—structural and chromatic aspects. *Journal of food science*, 71(4), R41–R50. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00022.x>
- Hofseth, L. J., Hebert, J. R., Murphy, E. A., Trauner, E., Vikas, A., Harris, Q., & Chumanevich, A. A. (2024). Allura Red AC is a xenobiotic. Is it also a carcinogen?. *Carcinogenesis*, 45(10), 711–720. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgae057>
- Kale, R. G., Sawate, A. R., Kshirsagar, R. B., Patil, B. M., & Mane, R. (2018). Studies on evaluation of physical and chemical composition of beetroot (*Beta vulgaris* L.). *International journal of chemical studies*, 6(2), 2977–2979.
- Krajka-Kuźniak, V., Paluszczak, J., Szafer, H., & Baer-Dubowska, W. (2013). Betanin, a beetroot component, induces nuclear factor erythroid-2-related factor 2-mediated expression of detoxifying/antioxidant enzymes in human liver cell lines. *British Journal of Nutrition*, 110(12), 2138–2149. <https://doi.org/10.1017/S0007114513001645>
- Kwon, Y. H., Banskota, S., Wang, H., Rossi, L., Grondin, J. A., Syed, S. A., Yousefi, Y., Schertzer, J. D., Morrison, K. M., Wade, M. G., Holloway, A. C., Surette, M. G., Steinberg, G. R., & Khan, W. I. (2022). Chronic exposure to synthetic food colorant Allura Red AC promotes susceptibility to experimental colitis via intestinal serotonin in mice. *Nature Communications*, 13(1), 7617. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35309-y>
- Marañón-Ruiz, V. F., Rizo de la Torre, L. D., & Chiu-Zarate, R. (2011). Caracterización de las propiedades ópticas de Betacianinas y Betaxantinas por espectroscopía Uv-Vis y barrido en Z. Superficies y vacío, 24(4), 113–120.
- Melquíades, Yendi I, López, Clara, & Rosas, Marta E. (2009). Rehydration Kinetics Study of the Dehydrated Carrot (*Daucus carota*). *Información tecnológica*, 20(3), 65–72. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642009000300009>
- Ng, L. H., Ling, J. K. U., & Hadinoto, K. (2022). Formulation strategies to improve the stability and handling of oral solid dosage forms of highly hygroscopic pharmaceuticals and nutraceuticals. *Pharmaceutics*, 14(10), 2015. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14102015>
- Punia Bangar, S., Singh, A., Chaudhary, V., Sharma, N., & Lorenzo, J. M. (2023). Beetroot as a novel ingredient for its versatile food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(26), 8403–8427. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2055529>
- Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas*, 24(51), 206–229. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Schab, D. W., & Trinh, N. T. (2004). Do Artificial Food Colors Promote Hyperactivity in Children with Hyperactive Syndromes? A Meta-Analysis of Double-Blind Placebo-Controlled Trials. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 25(6), 423–434. <https://doi.org/10.1097/00004703-200412000-00007>
- de Medio Ambiente y Recursos Naturales, S. (n.d.). Tintes naturales de México, rica gama de colores que admira el mundo. *Gob.Mx*. Retrieved February 25, 2026, from <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/tintes-naturales-de-mexico-rica-gama-de-colores-que-admira-el-mundo-276972?idiom=es>
- Soto Dagnino, M. A. (2020). Encapsulación de jugo de pitaya (*Stenocereus stellatus*) empleando mezclas de polisacáridos y proteína como materiales de pared: optimización de factores y propiedades físicoquímicas (Tesis Doctoral, Universidad Autónoma De Chihuahua). <http://repositorio.uach.mx/id/eprint/387>
- Velioglu, C., Erdemli, M. E., Gul, M., Erdemli, Z., Zayman, E., Bag, H. G., & Altinoz, E. (2019). Protective effect of crocin on food azo dye tartrazine-induced hepatic damage by improving biochemical parameters and oxidative stress biomarkers in rats. *General Physiology and Biophysics*, 38(01), 73–82. https://doi.org/10.4149/gpb_2018039
- Wu, L., Xu, Y., Lv, X., Chang, X., Ma, X., Tian, X., ... & Kong, X. (2021). Impacts of an azo food dye tartrazine uptake on intestinal barrier, oxidative stress, inflammatory response and intestinal microbiome in crucian carp (*Carassius auratus*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 223, 112551. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112551>
- Franco, L. E. Y., Tocto-Yajahuanca, L., Malpartida-Yapias, R. J., Ramírez-Tixe, E., & Ore-Areche, F. (2025). Beetroot microcapsules obtained by spray drying: physicochemical properties, bioactive compounds and encapsulation efficiency. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 375–385. <https://doi.org/10.17306/j.afs.001357>
- Zingue, S., Mindang, E. L. N., Awounfack, F. C., Kalgonbe, A. Y., Kada, M. M., Njamen, D., & Ndinteh, D. T. (2021). Oral administration of tartrazine (E102) accelerates the incidence and the development of 7, 12-dimethylbenz (a) anthracene (DMBA)-induced breast cancer in rats. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 21(1), 303. <https://doi.org/10.1186/s12906-021-03490-0>

Abreviaciones y Acrónimos

- MEB: Microscopía electrónica de barrido
 FDA: Food and Drug Administration
 HR: Humedad Relativa
 nm: nanómetros
 μ m: micrómetros
 keV: Kilo-electrovoltios

Agradecimientos

Los autores agradecen al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) por el reconocimiento a la labor de investigación, a la Universidad Tecnológica de Zinacantepec (UTZIN) por el reconocimiento y apoyo con reactivos y equipos utilizados en el proyecto, y al Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso (TESSFP) por la invitación para difundir el trabajo a través del Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Ciencias Aplicadas y Tecnología CIICCAT 2025.

Apéndice A. Primer Apéndice

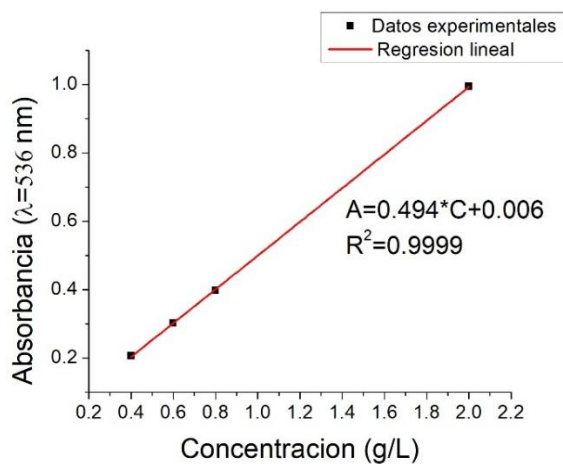


Figura 6. Regresión lineal de concentración de colorante y

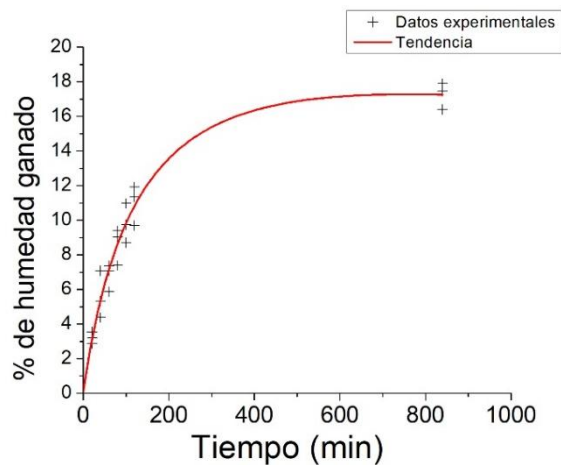


Figura 7. Aumento de humedad del colorante en el tiempo