



# OBTENCIÓN Y VALORIZACIÓN DE PIGMENTOS NATURALES A PARTIR DE ZANAHORIA Y REMOLACHA

## OBTAINING AND UTILIZING NATURAL PIGMENTS FROM CARROTS AND BEETS

Leslie Cevallos<sup>1</sup>

Investigador independiente

[leslie1104cevallos@hotmail.com](mailto:leslie1104cevallos@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-4538-5069>

Fecha de recepción: 15-02-2024

Fecha de aceptación: 23-02-2024

Fecha de publicación: 15-03-2024

### RESUMEN

La creciente demanda de colorantes naturales en las industrias alimentaria y farmacéutica ha impulsado la investigación sobre la obtención de pigmentos a partir de fuentes vegetales, como las zanahorias (*Daucus carota L.*), ricas en  $\beta$ -caroteno. Este estudio aborda la problemática de identificar métodos eficientes y sostenibles para la extracción de pigmentos, en particular considerando la reducción de impactos ambientales. El objetivo fue comparar técnicas convencionales y no convencionales de extracción de  $\beta$ -caroteno, evaluando su rendimiento y aplicabilidad a escala industrial. Se empleó un análisis bibliométrico de estudios recientes que incluyó técnicas como la extracción asistida por microondas (MAE), por ultrasonidos (UAE), por enzimas (EAE), y con fluidos supercríticos (SFE), comparándolas con métodos convencionales (CSE). La metodología incluyó la revisión de parámetros clave como el rendimiento, la eficiencia energética y la viabilidad industrial. UAE demostró ser la técnica más efectiva, con rendimientos de hasta 157 mg de  $\beta$ -caroteno por cada 100 g de materia seca. Los resultados mostraron que las técnicas no convencionales, especialmente UAE y MAE, no solo mejoran el rendimiento de extracción, sino que también reducen el uso de solventes tóxicos, siendo más sostenibles. Sin embargo, se concluye que es necesario optimizar las condiciones de extracción y almacenamiento para garantizar la estabilidad del pigmento y asegurar la viabilidad comercial a largo plazo. Este estudio resalta la importancia de desarrollar procesos industriales que sean ambientalmente responsables y económicamente rentables.

### Palabras clave

Extracción, colorante natural, caroteno, betacianos, remolacha, zanahoria



## ABSTRACT

The increasing demand for natural colorants in the food and pharmaceutical industries has prompted research into obtaining pigments from plant sources, such as carrots (*Daucus carota* L.), rich in  $\beta$ -carotene. This study addresses the issue of identifying efficient and sustainable methods for pigment extraction, particularly considering the reduction of environmental impacts. The aim was to compare conventional and non-conventional  $\beta$ -carotene extraction techniques, evaluating their performance and applicability at industrial scale. A bibliometric analysis of recent studies was used, including techniques such as microwave-assisted extraction (MAE), ultrasonic extraction (UAE), enzyme-assisted extraction (EAE), and supercritical fluid extraction (SFE), comparing them with conventional methods (CSE). The methodology included the review of key parameters such as performance, energy efficiency, and industrial feasibility. UAE proved to be the most effective technique, with yields of up to 157 mg of  $\beta$ -carotene per 100 g of dry matter. The results showed that non-conventional techniques, especially UAE and MAE, not only improve extraction yield, but also reduce the use of toxic solvents, being more sustainable. However, it is concluded that it is necessary to optimize extraction and storage conditions to guarantee pigment stability and ensure long-term commercial viability. This study highlights the importance of developing industrial processes that are environmentally responsible and economically profitable.

### Keywords

Extraction, natural coloring, carotene, betacyanins, beetroot, carrot

## INTRODUCCIÓN

El incremento en la producción de zanahoria, impulsado por el crecimiento de la población (1), ha llevado a un aumento en la generación de subproductos agrícolas (2). Si bien estos residuos pueden ser utilizados para producir biogás, compost o alimento para animales, una porción considerable aún no se aprovecha de manera óptima (3). Esta situación genera problemas ambientales y económicos, ya que los residuos no gestionados adecuadamente pueden contaminar el suelo y el agua, además de representar una pérdida de recursos valiosos (2).

Los residuos de la zanahoria y remolacha son una fuente rica en compuestos bioactivos, entre los que destacan los carotenoides (4). Estos pigmentos naturales, caracterizados por su color intenso y sus propiedades antioxidantes, tienen una estructura molecular que les confiere una alta estabilidad. La extracción y purificación de carotenoides a partir de estos residuos podría generar productos de alto valor agregado para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (5).

La demanda global de carotenoides ha mostrado un aumento constante en los últimos años, pasando de 4.193 toneladas en 2007 a 5.693,6 toneladas en 2017. Este crecimiento se refleja en un valor de mercado que superó los 1,5 billones de dólares en 2017 y se



estima que alcance los 2 billones de dólares en 2022. Este incremento se atribuye principalmente al creciente interés de los consumidores por productos naturales y funcionales, así como a las diversas aplicaciones de los carotenoides en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (6).

El  $\beta$ -caroteno natural, un tipo de carotenoide con propiedades antioxidantes, ha demostrado ser eficaz en la prevención de enfermedades crónicas (7), (8). Además de su valor nutricional, el  $\beta$ -caroteno se emplea en diversas industrias como colorante natural, ingrediente en suplementos vitamínicos y en la formulación de medicamentos (9). Por lo general, se encuentra en el mercado como una solución oleosa, comúnmente a base de aceite de girasol, con una concentración que oscila entre el 0,2% y el 1%, siendo ampliamente utilizado en la industria alimentaria (10).

Las betalaínas, pigmentos hidrosolubles de la remolacha, se dividen en dos grupos principales: betacianinas y betaxantinas (11), (14). Estos compuestos naturales, reconocidos por sus tonos rojos y amarillos, son utilizados como colorantes alimentarios (16), reemplazando a los colorantes sintéticos en una variedad de productos, desde jaleas y mermeladas hasta confitería, (18). Sin embargo, su estabilidad es afectada por factores como la oxidación, lo que limita su aplicación y requiere de procesos de extracción y conservación adecuados (12), (19), (20).

Las betaninas, pigmentos solubles en agua extraídos de la remolacha, se utilizan en la industria alimentaria debido a su capacidad colorante, propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, y como suplemento para deportistas (17). No obstante, su uso es limitado porque las betacianinas se degradan fácilmente con la exposición a la temperatura, luz y oxígeno (18). A pesar de estas limitaciones, el aumento en la oferta y demanda de alimentos procesados en Ecuador ha permitido la apertura de nuevos mercados, especialmente en el extranjero, gracias al mayor uso de pigmentos en los ingredientes (23).

El objetivo de este artículo es explorar y comparar diversas técnicas de extracción de pigmentos naturales, específicamente el  $\beta$ -caroteno a partir de zanahorias (*Daucus carota* L.) y pigmentos similares provenientes de remolacha. A través de un análisis bibliométrico, se busca identificar y analizar las metodologías convencionales y no convencionales, tales como la extracción asistida por microondas (MAE), ultrasonidos (UAE), enzimas (EAE) y fluidos supercríticos (SFE), evaluando su eficiencia y rendimiento en comparación con técnicas tradicionales. Un enfoque clave es la utilización de solventes amigables con el medio ambiente, permitiendo que las técnicas sean viables a escala industrial, con un enfoque en la sostenibilidad y el aprovechamiento de subproductos agroindustriales. Este estudio también busca optimizar las condiciones de extracción para garantizar la estabilidad y el máximo rendimiento del producto final, promoviendo así un impacto positivo en la industria alimentaria y farmacéutica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La elaboración de este artículo científico se basó en una búsqueda exhaustiva de información en artículos científicos relacionados con la obtención de pigmentos



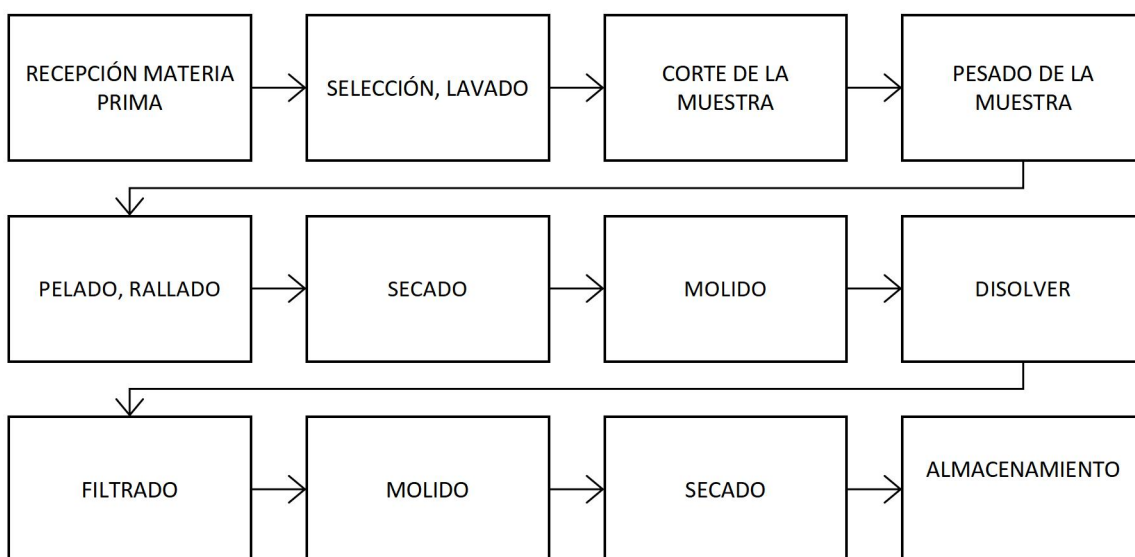
naturales, así como en tesis, libros y fuentes bibliográficas verificadas. También se utilizó información obtenida de la biblioteca virtual de la ESPOCH, lo que permitió profundizar en el tema y desarrollar un artículo con bases sólidas y fuentes confiables.

En este artículo, se utilizaron diversas técnicas experimentales para la obtención y valorización de pigmentos naturales a partir de remolacha y zanahoria, enfocadas en procesos de cristalización, fermentación y extracción asistida por tecnologías avanzadas.

### Obtención del pigmento de remolacha mediante cristalización

El proceso inició con el rallado y secado de los tubérculos a una temperatura de 75°C. La materia seca se molió finamente y se sometió a una extracción sólido-líquido utilizando metanol como solvente. La solución resultante fue filtrada para eliminar impurezas y luego concentrada por evaporación del solvente. El material sólido se sometió a un secado adicional a 80°C para eliminar residuos de solvente. La cristalización, como proceso de purificación, fue aplicada a la solución de pigmento en metanol caliente, enfriándose progresivamente para inducir la formación de cristales de pigmento puro.

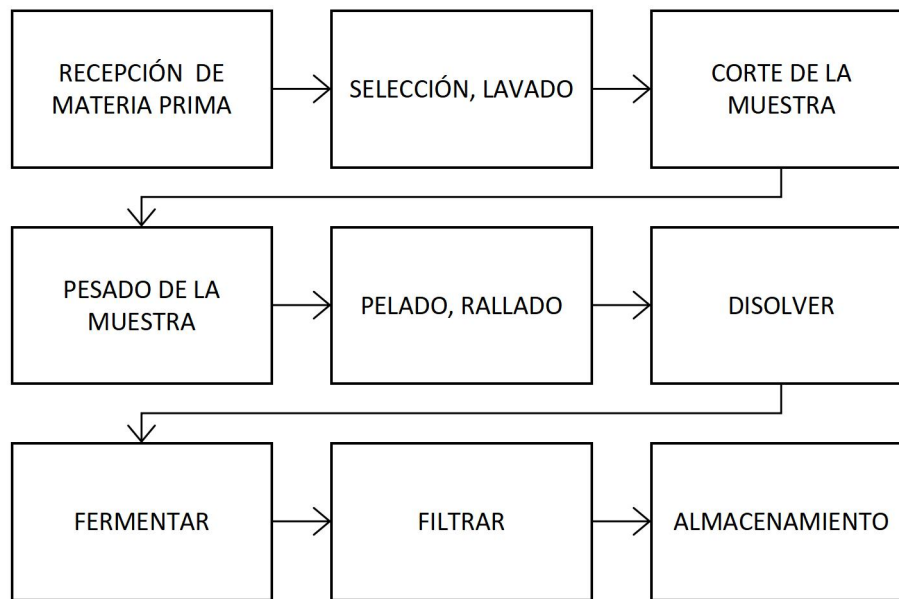
49



**Figura 1.** Método de cristalización

### Conservación del pigmento mediante fermentación

Para evaluar la estabilidad del colorante, se implementó un proceso de fermentación anaeróbica con bacterias lácticas (*Lactobacillus brevis*, *Silicobacter fermentum* y *Lactobacillus plantarum*). Este proceso permitió conservar las propiedades nutricionales y mejorar la estabilidad del color de la remolacha. La fermentación se realizó a una temperatura controlada de 60°C, transformando los azúcares de la remolacha en ácido láctico, lo cual redujo el pH y ayudó a preservar el pigmento. Se evaluaron las características organolépticas y la estabilidad del colorante en distintos alimentos.



**Figura 2.** Método de fermentación

### Extracción de $\beta$ -caroteno de zanahorias

Se emplearon tanto métodos convencionales como innovadores para la extracción de  $\beta$ -caroteno a partir de zanahorias. Entre los métodos convencionales, se aplicó Soxhlet y maceración con solventes orgánicos como hexano. Además, se utilizaron técnicas avanzadas como la extracción asistida por microondas (MAE), ultrasonidos (UAE) y fluidos supercríticos (SFE). Estas técnicas permitieron obtener una mayor eficiencia de extracción y una reducción en el uso de solventes, facilitando un proceso más rápido y sostenible. Se controlan variables como la temperatura, presión y tiempo de irradiación para minimizar la degradación térmica de los compuestos.

### Evaluación de los pigmentos obtenidos

Una vez obtenidos los pigmentos, se evaluó su pureza espectro mediante fotometría y se compararon los rendimientos de las diferentes técnicas. Asimismo, se analizó la estabilidad de los colorantes al aplicarlos en productos alimentarios como yogur, helados y jugos, para determinar su viabilidad en la industria alimentaria. Esta metodología permitió no solo la obtención eficiente de pigmentos naturales, sino también la identificación de procesos que optimizan el uso de recursos y aseguran la sostenibilidad en su producción a escala industrial.

## RESULTADOS

Las remolachas destacan por su riqueza en ácido fólico, una vitamina B fundamental para la formación de nuevas células y la prevención de defectos del tubo neural. Además, su contenido en fibra soluble e insoluble favorece la salud intestinal y contribuye a regular los niveles de glucosa y colesterol en sangre (20). La fermentación, un proceso metabólico anaeróbico, se aplica a las remolachas para prolongar su vida útil y potenciar sus propiedades nutricionales. Durante la fermentación, microorganismos



como las bacterias lácticas transforman los azúcares naturales de la remolacha en ácido láctico, lo que contribuye a su conservación y mejora su sabor (21).

**Tabla 1.** Resultados de la técnica de extracción de pigmentos

Técnica	Rendimiento aproximado (mg/100g)	Ventaja principal	Limitación principal
Cristalización (Remolacha)	85-100 ( $\beta$ -betalaínas)	Alta pureza en la formación de cristales	Requiere control preciso de temperatura
Fermentación (Remolacha)	60-80 (por proceso fermentativo)	Mejora las propiedades nutricionales	Control de pH necesario para mantener el color
Extracción asistida por microondas (Zanahoria)	120-140 ( $\beta$ -caroteno)	Menor tiempo de extracción	Potencial degradación del solvente
Extracción asistida por ultrasonido (Zanahoria)	157 mg $\beta$ -caroteno	Mayor rendimiento de $\beta$ -caroteno	Costo elevado del equipo
Extracción por fluido supercrítico (Zanahoria)	110-130 ( $\beta$ -caroteno)	Eficiencia a bajas temperaturas	Requiere condiciones específicas de presión

**Cristalización de remolacha:** Este método ofrece un rendimiento de entre 85 y 100 mg de pigmentos betalaínas por cada 100 gramos de remolacha seca. A pesar de la alta pureza en la obtención del pigmento, la cristalización requiere un control estricto de la temperatura para evitar la degradación del color.

**Fermentación de remolacha:** Aunque el rendimiento es más bajo (60-80 mg/100 g), el proceso fermentativo mejora las propiedades nutricionales del producto final. La reducción del pH mediante la producción de ácido láctico contribuye a la conservación, pero es crucial mantener un equilibrio adecuado para evitar la degradación del color.

**Extracción asistida por microondas (MAE):** Esta técnica logra extraer entre 120 y 140 mg de  $\beta$ -caroteno por cada 100 gramos de zanahoria, gracias a su capacidad para reducir el tiempo de extracción y aumentar la eficiencia. Sin embargo, el uso de solventes en esta técnica puede llevar a degradación si no se controla adecuadamente.

**Extracción asistida por ultrasonido (UAE):** Con un rendimiento superior de 157 mg de  $\beta$ -caroteno por cada 100 gramos, UAE se posiciona como una de las técnicas más



eficientes para la extracción de pigmentos, aunque su implementación a gran escala puede estar limitada por el alto costo del equipo necesario.

**Extracción por fluido supercrítico (SFE):** Ofrece rendimientos comparables a los de MAE, de entre 110 y 130 mg de  $\beta$ -caroteno, con la ventaja de trabajar a bajas temperaturas, lo que preserva mejor los pigmentos. Sin embargo, requiere una infraestructura avanzada para operar bajo las condiciones de presión y temperatura adecuadas.

### **Obtención del color de la remolacha por el método de cristalización**

La cristalización, un proceso de purificación sólido-líquido, se utiliza para obtener el colorante de remolacha. En este método, el pigmento de la remolacha se disuelve en metanol caliente, favoreciendo la solubilidad y permitiendo que las moléculas del colorante se encuentren en equilibrio dinámico con los cristales que se forman. Al enfriar la solución, la solubilidad disminuye y las moléculas del pigmento se ordenan formando cristales puros, dejando atrás las impurezas en la solución. Previamente a la cristalización, la remolacha es secada, molida y sometida a un proceso de extracción con metanol (24), (26).

### **Conservación del color de la remolacha mediante procesos de fermentación**

Las remolachas destacan por su riqueza en ácido fólico, una vitamina B fundamental para la formación de nuevas células y la prevención de defectos del tubo neural. Además, su contenido en fibra soluble e insoluble favorece la salud intestinal y contribuye a regular los niveles de glucosa y colesterol en sangre (20). La fermentación, un proceso metabólico anaeróbico, se aplica a las remolachas para prolongar su vida útil y potenciar sus propiedades nutricionales. Durante la fermentación, microorganismos como las bacterias lácticas transforman los azúcares naturales de la remolacha en ácido láctico, lo que contribuye a su conservación y mejora su sabor (21), (22).

La fermentación láctica es una técnica que aprovecha la acción de bacterias del ácido láctico, como *Lactobacillus brevis*, *Silicobacter fermentum* y *Lactobacillus plantarum*, para conservar el color de la remolacha (29). Al fermentar, estas bacterias producen ácido láctico, lo que disminuye el pH del medio y crea un ambiente desfavorable para el crecimiento de microorganismos que podrían deteriorar el colorante. Además, los procesos fermentativos pueden alterar las paredes celulares de la remolacha, facilitando la liberación de nutrientes y pigmentos. Aunque el colorante de remolacha es estable en condiciones ácidas, el calentamiento en presencia de aire puede provocar su degradación y oscurecimiento (30).

### **Métodos de obtención de B-caroteno a partir de zanahorias**

Existen múltiples métodos para extraer  $\beta$ -caroteno de zanahorias. Los métodos convencionales, como Soxhlet, maceración e hidrodestilación, implican el uso de solventes y calor. Los métodos no convencionales, como la extracción asistida por microondas o ultrasonido, aprovechan energía para mejorar la eficiencia de extracción. El hexano, un solvente orgánico, es ampliamente utilizado debido a su alta capacidad de



disolución del  $\beta$ -caroteno, aunque su manejo requiere precauciones por razones de seguridad y ambientales (31), (32), (33), (34).

### **Extracción de pigmento asistida por microondas**

La extracción por microondas es una técnica innovadora que utiliza ondas electromagnéticas para calentar directamente la muestra y el solvente, acelerando así el proceso de extracción (35). Esta técnica presenta diversas ventajas en comparación con los métodos convencionales, como un menor tiempo de extracción, un menor consumo de solventes y mayores rendimientos de  $\beta$ -caroteno. Además, al permitir un control preciso de la temperatura y el tiempo de irradiación, se minimizan las pérdidas por degradación térmica y oxidativa del  $\beta$ -caroteno (36).

Según (37), la extracción por microondas se basa en dos métodos principales. El primero consiste en irradiar con microondas una muestra sumergida en un solvente, lo que facilita la disolución y extracción de los compuestos de interés. El segundo método implica el uso de recipientes cerrados que permiten alcanzar altas temperaturas y presiones, mejorando así la solubilidad y la difusión del solvente en la matriz de la muestra (38).

### **Extracción de carotenoides asistida por ultrasonido**

La extracción asistida por ultrasonidos (UAE) es una técnica que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para romper las paredes celulares de las muestras y liberar los compuestos de interés (39). Al aplicar ultrasonidos, se generan cavitaciones que producen microburbujas que colapsan violentamente, generando altas temperaturas y presiones locales. Estas condiciones favorecen la transferencia de masa entre las células y el solvente, mejorando así la eficiencia de extracción (40).

La extracción asistida por ultrasonidos se basa en la generación de ondas sonoras de alta frecuencia que interactúan con el medio líquido, produciendo diversos fenómenos físicos. La fragmentación de las partículas, la erosión de la superficie, la sonocapilaridad y la sonoporación son los principales mecanismos que facilitan la liberación de compuestos bioactivos de las células vegetales (41). Estos fenómenos se deben al colapso de las burbujas de cavitación, que generan altas presiones y temperaturas locales, favoreciendo la transferencia de masa y la ruptura de las paredes celulares (42).

### **Extracción asistida por fluido supercrítico**

La extracción por fluidos supercríticos ofrece dos modos de operación principales: estático y dinámico. En el modo estático, la celda de extracción se presuriza con el fluido supercrítico y se mantiene cerrada durante un tiempo específico para permitir el equilibrio entre el fluido y la muestra. Posteriormente, se abre la válvula para recuperar el extracto. En el modo dinámico, el fluido fluye continuamente a través de la celda, lo que facilita la extracción de los compuestos de interés. El flujo del fluido está controlado por la presión de trabajo y las características del restrictor, que regula la salida del fluido de la celda (43).



La EAFS es una técnica que permite extraer compuestos de forma eficiente a temperaturas relativamente bajas, minimizando la degradación térmica. Al utilizar CO<sub>2</sub> supercrítico como solvente, se evita el uso de solventes orgánicos tóxicos y se simplifica el proceso de purificación del extracto (44). El CO<sub>2</sub> es un fluido seguro, no inflamable y de bajo costo, lo que lo convierte en una opción atractiva para diversas aplicaciones industriales (45).

## DISCUSIÓN

Los pigmentos naturales como las antocianinas tienen un gran potencial de sustitución tintes artificiales, por qué es importante entender sus aspectos bioquímicos los pigmentos incluyen una variedad de colores desde el rojo hasta el azul, por lo tanto, las antocianinas han demostrado ser una nueva alternativa para la obtención de tintes naturales consumo (46). Las estructuras de los pigmentos naturales son muy diversas química y origen. Aunque también existen colorantes raros, como el ácido carmínico, la mayoría las sustancias que se encuentran comúnmente en los alimentos se pueden dividir en las siguientes categorías.

Éste la importancia del uso de colorantes alimentarios es fundamental en los aditivos alimentos, ya que a menudo se utilizan para realzar el color natural de los alimentos y otros productos alimenticios, restaurar los colores perdidos durante el almacenamiento (47). La industria se ha desarrollado mediante la extracción de pigmentos naturales la biotecnología ha surgido como una alternativa para evitar el uso de colorantes sintéticos, este enfoque ayuda a prevenir una gran cantidad de enfermedades de la población causadas por: consumo excesivo de alimentos procesados que contienen colorantes artificiales (48).

En este resumen podemos decir que los pigmentos (49) naturales como las antocianinas tienen un gran potencial para reemplazar los colorantes artificiales, es por ello que es importante conocer los aspectos bioquímicos de estos pigmentos, incluyendo una amplia gama de colores desde el rojo hasta el rojo, ya que son azules, Las antocianinas representan una nueva alternativa para la obtención de colorantes naturales para el consumo humano.

En esta mesa de discusión, si bien se tiene esto en cuenta a lo largo del trabajo, se ha analizado que la tecnología utilizada para la obtención de la coloración en cuanto a la cristalización fue adecuada, ya que al observar los resultados estadísticos se conoció que el mejor tratamiento es el uno que corresponde a a1: cristalización y b0: raíz, podemos ver que para el método de cristalización, los valores de están cerca del valor de absorbancia de la muestra, que es 0.045, por lo que vemos que el colorante tiene una absorbancia de 0.029, mientras que (50).

Para el método de obtención de la fermentación, los valores fueron muy bajos, lo cual se da en la Tabla 6 en comparación con el valor de la betalaína pura, ya que las condiciones no fueron las óptimas y se brindó un buen resultado, por lo que obtuvimos una tinción amarillo-naranja. y no coloreada. Rojo como debería haber sido, aparentemente necesito más tiempo de fermentación ya que todo el alcohol se evaporó, aunque las remolachas estaban descoloridas (51). Por lo tanto, en la Tabla #7, se puede



ver que cuanto más cercano es el valor de absorbancia al valor de la muestra, se obtiene una mejor concentración y, por lo tanto, el mejor tratamiento en términos de concentración fue el tratamiento a 1b0 en las réplicas 2 y 3. Por lo tanto, el cuanto mayor sea la concentración, mayor será el grado de pureza, por lo que de la misma manera (52).

Si bien decimos que la discusión sobre la coloración es una forma de preservar la coloración natural de la remolacha, en cambio, existe otro método que es aplicable a otro vegetal que obtiene B-carotenos del uso de zanahorias, según B-Caroteno. El B-caroteno es un compuesto carotenoide que se encuentra en las zanahorias. 54Alto valor comercial y crecimiento en el mercado mundial debido a su amplia aplicación en las industrias farmacéutica, alimenticia y cosmética, así como a sus beneficios para la salud.

El  $\beta$ -caroteno juega un papel muy importante en la prevención de trastornos del sistema inmunológico y otras enfermedades como el cáncer de mama, próstata, colon y pulmón; También se utiliza para tratar la osteoporosis, enfermedades cardiovasculares, problemas de visión y problemas de sensibilidad de la piel (49) (53). Evaluar el desarrollo de técnicas para la obtención de  $\beta$ -caroteno a partir de zanahoria permite identificar un amplio horizonte de posibilidades. y alternativas potenciales para el aprovechamiento de este recurso natural y sus derivados industriales (55).

## CONCLUSIONES

Las técnicas de extracción no convencionales, como la extracción asistida por ultrasonido (UAE) y la extracción asistida por microondas (MAE), demostraron ser más eficientes en términos de rendimiento de  $\beta$ -caroteno y tiempo de extracción en comparación con los métodos tradicionales. Con rendimientos de hasta 157 mg de  $\beta$ -caroteno/100 g de base seca en el caso de UAE, estas técnicas ofrecen una alternativa prometedora para la producción industrial, a la vez que reducen el uso de solventes y el impacto ambiental.

El estudio destaca la importancia de adoptar solventes amigables con el medio ambiente, como el dióxido de carbono supercrítico (CO<sub>2</sub>), que se utiliza en la extracción por fluidos supercríticos (SFE). Esta técnica permite extraer  $\beta$ -caroteno y otros pigmentos de manera eficiente, reduciendo la necesidad de solventes orgánicos tóxicos. Esto contribuye a una mayor sostenibilidad en la producción de colorantes naturales, haciéndola aplicable a gran escala en la industria alimentaria y farmacéutica.

Aunque los resultados son prometedores, el estudio concluye que es necesario seguir investigando las condiciones óptimas de extracción y almacenamiento, así como los parámetros que aseguren la estabilidad de los pigmentos obtenidos. El desafío radica en la escalabilidad industrial de estas técnicas, manteniendo un enfoque en la sostenibilidad ambiental y minimizando la degradación de los pigmentos durante el procesamiento y el almacenamiento. Esto permitirá maximizar el rendimiento y la viabilidad comercial de los colorantes naturales a partir de zanahoria y remolacha.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Moreno AD, Ballesteros M, Negro MJ. Biorefineries for the valorization of food processing waste. In: *The Interaction of Food Industry and Environment*. Elsevier; 2020. p. 155–90.
2. Clementz A, Torresi PA, Molli JS, Cardell D, Mammarella E, Yori JC. Novel method for valorization of by-products from carrot discards. *LWT*. 2019 Feb;100:374–80.
3. Marcela M, Anaya M, Cáterin J, Pechene Q. Current status of fruit and vegetable residues in Colombia. 2017.
4. Ames BN, Shigenaga MK, Hagen TM. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1993 Sep;90(17):7915–22.
5. Cheng SH, Khoo HE, Kong KW, Prasad KN, Galanakis CM. Extraction of carotenoids and applications. In: *Carotenoids: Properties, Processing and Applications*. Elsevier; 2020. p. 259–88.
6. Bogacz-Radomska L, Harasym J, Piwowar A. Commercialization aspects of carotenoids. In: *Carotenoids: Properties, Processing and Applications*. Elsevier; 2020. p. 327–57.
7. Aissou M, Chemat-Djenni Z, Yara-Varón E, Fabiano-Tixier AS, Chemat F. Limonene as an agro-chemical building block for the synthesis and extraction of bioactive compounds. *Comptes Rendus Chimie*. 2017 Apr;20(4):346–58.
8. Armenta S, Garrigues S, de la Guardia M. The role of green extraction techniques in Green Analytical Chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2015 Sep;71:2–8.
9. Martins N, Ferreira ICFR. Wastes and by-products: Upcoming sources of carotenoids for biotechnological purposes and health-related applications. *Trends Food Sci Technol*. 2017 Apr;62:33–48.
10. Tsiaka T, Sinanoglou VJ, Zoumpoulakis P. Extracting Bioactive Compounds From Natural Sources Using Green High-Energy Approaches: Trends and Opportunities in Lab- and Large-Scale Applications. In: *Ingredients Extraction by Physicochemical Methods in Food*. Elsevier; 2017. p. 307–65.
11. BILYK A. Thin-Layer Chromatographic Separation of Beet Pigments. *J Food Sci*. 1981 Jan;46(1):298–9.
12. COHEN E, SAGUY I. Effect of Water Activity and Moisture Content on the Stability of Beet Powder Pigments. *J Food Sci*. 1983 May;48(3):703–7.



13. SAPERS GM, HORNSTEIN JS. VARIETAL DIFFERENCES IN COLORANT PROPERTIES AND STABILITY OF RED BEET PIGMENTS. *J Food Sci.* 1979 Jul;44(4):1245–8.
14. Viloría-Matos A, Moreno-Alvarez MJ, Hidalgo-Báez D. ISOLATION AND IDENTIFICATION OF BETACYANIN FROM FRUITS OF *Opuntia boldinghii* Br. et R. BY HPTLC AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE BETACIANINA PROVENIENTE DE FRUTOS DE *Opuntia boldinghii* Br. et R. POR HPTLC AILLAMENTO E IDENTIFICACIÓN DE BETACIANINA PROVINTE DE FRUTOS DE *Opuntia boldinghii* Br. et R. POR HPTLC. *Ciencia y Tecnología Alimentaria.* 2001 Dec;3(3):140–3.
15. Muñoz O, Maldonado Cid S. Antocianos y betalaínas colorantes naturales de aplicación industrial. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED); 2003.
16. BILYK A. EXTRACTIVE FRACTIONATION OF BETALAINES. *J Food Sci.* 1979 Jul;44(4):1249–51.
17. Delgado-Vargas F, Jiménez AR, Paredes-López O. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains — Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2000 May;40(3):173–289.
18. Viloría-Matos A, Corbelli-Moreno D, Moreno-Alvarez MJ, D. R. Belén C. Estabilidad de betalainas en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii* Br. et R.) sometidas a un proceso de liofilización. [Internet]. Vol. 19, *Revista de la Facultad de Agronomía.* 2000. Universidad del Zulia; 2002 [cited 2023 Jul 29]. 324–331 p. Available from: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182002000400008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182002000400008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
19. SAGUY I, GOLDMAN M, BORD A, COHEN E. Effect of Oxygen Retained on Beet Powder on the Stability of Betanine and Vulgaxanthine I. *J Food Sci.* 1984 Jan;49(1):99–101.
20. HUANG AS, ELBE JH VON. Kinetics of the Degradation and Regeneration of Betanine. *J Food Sci.* 1985 Jul;50(4):1115–20.
21. Villota García VP, Bonilla Lucero ML, Segura Mestanza JH, Coba Carrera RL, Brito Moina HL. Colorantes naturales para uso alimenticio. *Ciencia Digital.* 2019 Jun 1;3(2.4):88–98.
22. Coba Carrera RL, Apolo Criollo LG, Segura Mestanza JH, Brito Moina HL. Obtención del colorante natural del Camote (*Ipomoea batatas*). *Ciencia Digital.* 2019 Jul 28;3(3.2):38–47.
23. Boukroufa M, Boutekedjiret C, Chemat F. Development of a green procedure of citrus fruits waste processing to recover carotenoids. *Resource-Efficient Technologies.* 2017 Sep;3(3):252–62.



24. Yanchapanta. Daniela. "OBTENCIÓN DE UN COLORANTE NATURAL LA BETALAINA A PARTIR DE LA REMOLACHA (BETA VULGARIS) PARA SU APLICACIÓN EN ALIMENTOS Y BEBIDAS, SIN QUE SUS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS (SABOR Y OLOR) AFECTEN SU UTILIDAD" [Internet]. 2011 [cited 2023 Aug 1]. Available from: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1764/1/SBQ17%20Ref.3401.pdf>
25. Fiallos F, Mariuxi L, Zumbana N, Esteban D. "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN LIOFILIZADOR PARA EL SECADO DE LA REMOLACHA AZUCARERA (Beta vulgaris var. saccharifera)." 2014 [cited 2023 Aug 1]; Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3201/1/96T00235.pdf>
26. Orozco E. ELABORACIÓN DE MORTADELA UTILIZANDO COLORANTES NATURALES DE REMOLACHA (Beta Vulgaris) Y SANGORACHE (Amaranthus Quitensis L.) COMO REEMPLAZO DEL COLORANTE ARTIFICIAL. [Internet]. 2016 [cited 2023 Aug 1]. Available from: ELABORACIÓN DE MORTADELA UTILIZANDO COLORANTES NATURALES DE REMOLACHA (Beta Vulgaris) Y SANGORACHE (Amaranthus Quitensis L.) COMO REEMPLAZO DEL COLORANTE ARTIFICIAL.
27. Otálora-Orrego D, Martín G. DA. Técnicas emergentes de extracción de  $\beta$ -caroteno para la valorización de subproductos agroindustriales de la zanahoria (*Daucus carota* L.): una revisión. *Informador Técnico*. 2020 Oct 6;85(1).
28. Castellari M, Sartini E, Fabiani A, Arfelli G, Amati A. Analysis of wine phenolics by high-performance liquid chromatography using a monolithic type column. *J Chromatogr A*. 2002 Oct;973(1-2):221-7.
29. Grande-Tovar C, Araujo Pabón L, Flórez López E, Aranaga Arias C. Determinación de la actividad antioxidante y antimicrobiana de residuos de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Informador Técnico*. 2020 Sep 7;85(1):64-82.
30. Amán C. Utilización del extracto de remolacha *Beta vulgaris*, como colorante natural en la elaboración del yogur de fresa [Internet]. 2010 [cited 2023 Aug 1]. Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/813/1/27T0162.pdf>
31. Kyriakopoulou K, Papadaki S, Krokida M. Life cycle analysis of  $\beta$ -carotene extraction techniques. *J Food Eng*. 2015 Dec;167:51-8.
32. Yara-Varón E, Li Y, Balcells M, Canela-Garayoa R, Fabiano-Tixier AS, Chemat F. Vegetable Oils as Alternative Solvents for Green Oleo-Extraction, Purification and Formulation of Food and Natural Products. *Molecules*. 2017 Sep 5;22(9):1474.
33. Selvamuthukumaran M, Shi J. Recent advances in extraction of antioxidants from plant by-products processing industries. *Food Quality and Safety*. 2017 Mar 1;1(1):61-81.



34. Acacio-Chirino I NJ, Lourdes Zumalacárregui DM. Development of a Procedure for the Extraction of  $\beta$ -Carotene and Glycerol from the Microalga *Dunaliella* Sp. at Las Cumaraguas Saltworks. Vol. XXV. mayo-agosto; 2013.
35. Hiranvarachat B, Devahastin S. Enhancement of microwave-assisted extraction via intermittent radiation: Extraction of carotenoids from carrot peels. *J Food Eng.* 2014 Apr;126:17–26.
36. Cavalluzzi MM, Lamonaca A, Rotondo NP, Miniero DV, Muraglia M, Gabriele P, et al. Microwave-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Lentil Wastes: Antioxidant Activity Evaluation and Metabolomic Characterization. *Molecules.* 2022 Nov 2;27(21):7471.
37. Al Mamoori F, Al Janabi R. RECENT ADVANCES IN MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION (MAE) OF MEDICINAL PLANTS: A REVIEW. *International Research Journal Of Pharmacy.* 2018 Jul 23;9(6):22–9.
38. Ameer K, Shahbaz HM, Kwon JH. Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their Byproducts: A Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2017 Mar;16(2):295–315.
39. Benmeziane A, Boulekbache-Makhlouf L, Mapelli-Brahm P, Khaled Khodja N, Remini H, Madani K, et al. Extraction of carotenoids from cantaloupe waste and determination of its mineral composition. *Food Research International.* 2018 Sep;111:391–8.
40. Corona-Jiménez E, Martínez-Navarrete N, Ruiz-Espinosa H, Carranza-Concha J. Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chia (*Salvia hispanica* L.) y su actividad antioxidante [Internet]. 2022 [cited 2023 Aug 1]. Available from: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952016000400403](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000400403)
41. Tan J, Han Y, Han B, Qi X, Cai X, Ge S, et al. Extraction and purification of anthocyanins: A review. *J Agric Food Res.* 2022 Jun;8:100306.
42. Medina-Torres N, Ayora-Talavera T, Espinosa-Andrews H, Sánchez-Contreras A, Pacheco N. Ultrasound Assisted Extraction for the Recovery of Phenolic Compounds from Vegetable Sources. *Agronomy.* 2017 Jul 7;7(3):47.
43. Chafer A, Pascual-Martí MC, Salvador A, Berna A. Supercritical fluid extraction and HPLC determination of relevant polyphenolic compounds in grape skin. *J Sep Sci.* 2005 Oct;28(16):2050–6.
44. Ferrentino G, Morozova K, Mosibo OK, Ramezani M, Scampicchio M. Biorecovery of antioxidants from apple pomace by supercritical fluid extraction. *J Clean Prod.* 2018 Jun;186:253–61.



45. Yousefi M, Rahimi-Nasrabadi M, Pourmortazavi SM, Wysokowski M, Jesionowski T, Ehrlich H, et al. Supercritical fluid extraction of essential oils. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2019 Sep;118:182–93.
46. Moina, H. L. (2018). “EXTRACCIÓN DE COLORANTES NATURALES DE REMOLACHA *Hibiscus sabdariffa* PARA EL USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS”. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE CIENCIAS, Riobamba-Ecuador.
47. Mayanquer, F. G. (2017). EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL PIGMENTO NATURAL OBTENIDO A PARTIR DE BETACAROTENOS (*Vaccinium myrtillus* L) COMO COLORANTE PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS. Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Ecuador.
48. Agócs A, Deli J. Pigments in your food. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2011 Sep;24(6):757–9.
49. Aggoun M, Arhab R, Cornu A, Portelli J, Barkat M, Graulet B. Olive mill wastewater microconstituents composition according to olive variety and extraction process. *Food Chem*. 2016 Oct;209:72–80.
50. Gage, J. (1993). *Colour and Culture. Practice and Meaning from Antiquity to Abstraction*. Londres: Thames and Hudson.
51. Bagherian H, Zokaee Ashtiani F, Fouladitajar A, Mohtashamy M. Comparisons between conventional, microwave- and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2011 Nov;50(11–12):1237–43.
52. PREUDHOMME, Jean Luc ; et al. Infrared studies of spinels-III. The normal II-III spinels. En: *Spectrochimica Acta Part A: Molecular Spectroscopy*. Noviembre 2001. Vol. 27, N°9, p. 1817-1835.
53. Sturzoiu, A., Stroescu, M., Stoica, A., Dobre, T. (2011). Betanine extraction from *Beta vulgaris*—experimental research and statistical modeling. *Scientific Bulletin*. 73(1). Pp. 145-156
54. Márquez, E., García, Y. (2007). Colorantes naturales de origen vegetal. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. 17(1). Pp. 68-74.
55. Mayer, F. (1950). *La química de las materias colorantes naturales. Constitución, propiedades y correlaciones biológicas de los pigmentos naturales importantes*. Madrid: Aguilar. Pp. 30-100