

**Propiedades físicas, químicas y biológicas del pigmento natural *Beta vulgaris*: revisión y propuesta de un protocolo experimental**

**Physical, chemical, and biological properties of the natural pigment *Beta vulgaris*: review and proposal of an experimental protocol**

---

**Para citar este trabajo:**

Sarango, Y., y Chenche, O., (2024) Propiedades físicas, químicas y biológicas del pigmento natural *Beta vulgaris*: revisión y propuesta de un protocolo experimental. *Reincisol*, 3(6), pp. 3146-3165.  
[https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)3146-3165](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)3146-3165)

---

**Autores:**

**Yessenia Beatriz Sarango Ortega**

Universidad Estatal de Milagro  
Milagro, Ecuador

Correo Institucional: ysarangoo@unemi.edu.ec

Orcid <https://orcid.org/0000-0001-7042-0623>.

**Oscar Mauricio Chenche López**

Universidad Estatal de Milagro  
Milagro, Ecuador

Correo Institucional: ochenchel@unemi.edu.ec

Orcid <https://orcid.org/0009-0005-6302-3749>.

**RECIBIDO:** 23 agosto 2024

**ACEPTADO:** 28 septiembre 2024

**PUBLICADO** 7 octubre 2024

## Resumen

La extracción de pigmentos vegetales, como los derivados de la remolacha roja (*Beta vulgaris*), enfrenta diversos desafíos, incluyendo la variabilidad en los colores obtenidos y la complejidad de los extractos. Existen varios métodos de extracción, cada uno con sus ventajas y desventajas. El método de maceración, tradicional y simple, utiliza agua para extraer pigmentos a través de un proceso de remojo y cocción, logrando un colorante concentrado. En contraste, la extracción sin solventes químicos se realiza con mordientes como alumbre y jugo de lima, lo que produce pigmentos más brillantes. El método que utiliza solventes orgánicos y microondas emplea etanol, hexano o isopropanol, acelerando la extracción con irradiación controlada para mayor eficiencia. Además, los fijadores de color, como el cloruro de sodio y el bicarbonato de sodio, estabilizan los pigmentos, mejorando su durabilidad y brillo. La remolacha roja es rica en betalaínas, principalmente betacianinas y betaxantinas, que se mantienen estables en un pH de 3,5 a 7, pero son sensibles a la temperatura y la luz, lo que puede provocar la pérdida de color. Estas betalaínas, que se acumulan en vacuolas celulares, se ven afectadas por reacciones químicas como la oxidación, que reduce su intensidad de color. La combinación de técnicas de extracción innovadoras y el uso de fijadores busca superar las limitaciones en la producción de tintes naturales, optimizando la calidad y durabilidad del colorante.

**Palabras claves:** betalaínas., pigmentos naturales., extracción

### Abstract

The extraction of plant pigments, such as those derived from red beet (*Beta vulgaris*), faces various challenges, including the variability in the colors obtained and the complexity of the extracts. There are several extraction methods, each with its advantages and disadvantages. The traditional and simple maceration method uses water to extract pigments through a soaking and cooking process, achieving a concentrated colorant. In contrast, extraction without chemical solvents is done with mordants such as alum and lime juice, which produces brighter pigments. The method that uses organic solvents and microwaves uses ethanol, hexane or isopropanol, accelerating the extraction with controlled irradiation for greater efficiency. Additionally, color fixatives, such as sodium chloride and baking soda, stabilize the pigments, improving their durability and shine. Red beets are rich in betalains, mainly betacyanins and betaxanthins, which are stable at pH 3.5 to 7, but are sensitive to temperature and light, which can cause color loss. These betalains, which accumulate in cellular vacuoles, are affected by chemical reactions such as oxidation, which reduces their color intensity. The combination of innovative extraction techniques and the use of fixatives seeks to overcome the limitations in the production of natural dyes, optimizing the quality and durability of the dye.

**Keywords:** betalains, natural pigments, extraction.

## INTRODUCCIÓN

Los pigmentos naturales son sustancias cromóforas responsables del color, capaces de absorber energía y excitar electrones desde orbitales de menor a mayor energía. La porción de energía que no es absorbida se refleja, lo que genera un color visible para el ojo humano (Rodríguez-Mena et al., 2023). Los pigmentos naturales son producidos por seres vivos como plantas, insectos y microorganismos (Dikshit & Tallapragada, 2018), por lo que son biodegradables, renovables, respetuosos con el medio ambiente (Gengatharan et al., 2015; Sharma et al., 2022), no son tóxicos e hipoalergénicos y por ende no son perjudiciales a la salud humana, pueden sustituir o superar fácilmente a los pigmentos sintéticos (Patel, 2011). La producción de los pigmentos naturales implica mínimos procesos químicos reduciendo la contaminación ambiental (Mahltig, H. Böttcher, 2020). Mientras que los pigmentos sintéticos son producidos a partir de productos químicos derivados del petróleo, por lo que su aplicación es restringida ya que causan contaminación ambiental, y son nocivos para la salud humana, pues contienen metales pesados y carcinógenos (Sharma et al., 2022)

Entre los pigmentos naturales más comunes se destacan:

- **Antocianinas** las antocianinas suelen generar colores que van del rojo al rojo púrpura, o incluso azul se encuentran principalmente en arándanos, grosellas negras, fresas, frambuesas, cerezas y uvas moradas (Ortiz Miguel Aguilera et al., 2011).
- **Betalainas están** presentes en plantas del orden *Caryophyllales* (como cactáceas y amarantáceas, incluyendo remolacha, pitahaya roja y tunas), y algunos hongos (Davies, 2004; Strack et al., 2003). Se dividen en dos grupos:
  - ✓ Betacianinas generan un color rojo violeta y
  - ✓ Betaxantinas, producen un color amarillo y anaranjado
- **Carotenoides** presentan un color amarillo y están presentes en plantas y bacterias fotosintéticas (Acar et al., 2011; Siriamornpun et al., 2012)
- **Clorofila** se obtiene un pigmento verde a partir de todas las plantas fotosintéticas (An-Erl et al., 2001).

A lo largo de la historia los pigmentos naturales han sido utilizados por diversas culturas alrededor del mundo, con fines artísticos, rituales y utilitarios (Soria-Aguilar Ma. de Jesús et al., 2015). El ser humano ha extraído pigmentos a partir de diferentes organismos vivos, que han sido utilizados para decorar sus cuerpos, crear arte rupestre, tintar tejidos, fabricar cosméticos y preparar medicinas (CALDERÓN CENTENO LUIS RAFAEL & MORILLO ORTEGA GARY FRANCISCO, 2019). Esta investigación se centrará en la descripción de las propiedades físicas, químicas y biológicas del pigmento natural de origen vegetal presente en *Beta vulgaris*, el cual puede ser extraído de diversas partes de la planta, como raíces, hojas, tallos y frutos. Se propondrá un protocolo de extracción accesible, basado en métodos reportados en diversas revisiones bibliográficas, que ha demostrado ser eficiente para la obtención de estos compuestos (Alegbe & Uthman, 2024).

### ***Beta vulgaris* (Remolacha)**

La remolacha roja (*Beta vulgaris*), contiene dos pigmentos betaláinicos principales, la betanina roja y la vulgaxantina I amarilla, se ha considerado durante mucho tiempo como la única fuente de betalainas (Fu et al., 2020).

- **Propiedades Físicas:** tiene estabilidad a la luz y resistencia al desgaste en caso de usarla en algún papel o tela de pintura (absorción, dispersión, etc). Existen varios factores que afectan la estabilidad de las betalainas como el pH, temperatura y luz.

**pH:** Las betalainas se mantienen estables en un rango de pH entre 3,5 y 7, con un máximo de absorción para las betacianinas a 537-538 nm y para las betaxantinas a 475-477 nm. Fuera de este rango, la intensidad de los espectros visibles disminuye. La betanina es más estable a pH 5,5, mientras que la vulgaxantina I tiene una estabilidad óptima entre pH 5,0 y 6,0, tanto en extractos como en pigmento en polvo (Singer & Von Elbe, 1980).

**Temperatura:** la estabilidad de las betalainas también se ve afectada por la temperatura. El calentamiento de soluciones de betanina provoca una pérdida gradual del color rojo, con la aparición eventual de un tono marrón claro; se ha

reportado una cinética de degradación de betanina de primer orden inducida por el calor Von Elbe et al. (1974).

**Luz:** en un estudio realizado por von Elbe et al. (1974), se observó que la tasa de degradación de la betanina aumentó un 15,6% tras la exposición a la luz del día a 15 °C; mientras que en condiciones de oscuridad las betacianinas son más estables.

- **Propiedades Químicas:** contiene dos pigmentos principales, las betacianinas (color rojo) y la betaxantinas amarilla, se ha considerado durante mucho tiempo como la única fuente de betalaínas (Fu et al., 2020).

Las betalaínas son compuestos derivados del amonio del ácido betalámico, cuyo cromóforo es un sistema protonado de 1,7-diazaheptametina. Las betacianinas varían en sus grupos acilo y fracciones de azúcar, mientras que las betaxantinas se conjugan con aminas y aminoácidos. La betanidina es la base estructural de la mayoría de las betacianinas (Piatelli, 1964). Se conocen más de 50 betalaínas, todas con la misma estructura básica, y su color se debe a la resonancia de los dobles enlaces (Strack, Steglich, & Wray, 1993).

Las betacianinas y betaxantinas se clasifican según sus estructuras químicas. Las betacianinas presentan variaciones en los azúcares (por ejemplo, O-D-glucosa en posición 5) y en los grupos acilo (por ejemplo, feruloilo), mientras que las betaxantinas se caracterizan por su conjugación con diversas aminas (como glutamina) y aminoácidos (como tirosina) (Gandía-Herrero et al., 2016).

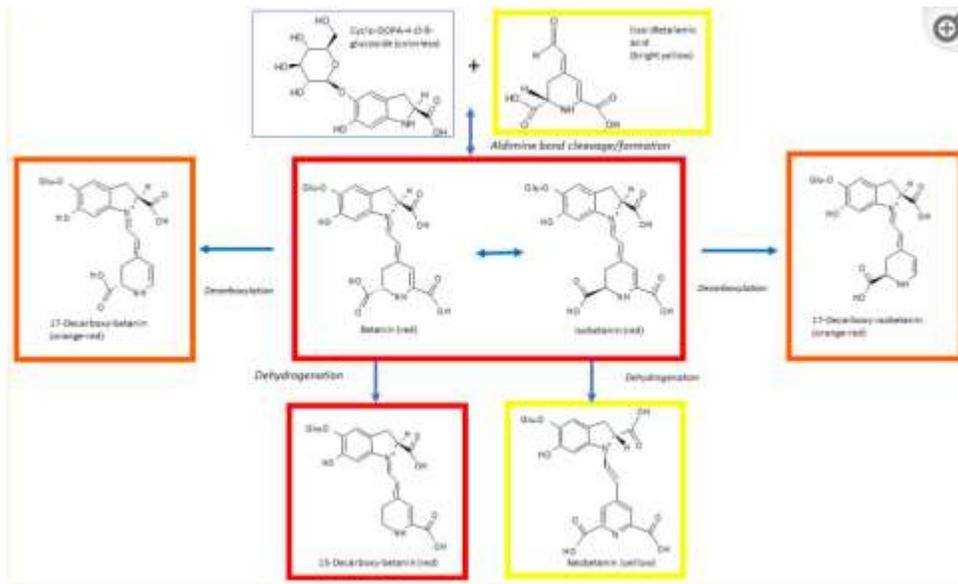
En las remolachas, las betacianinas constituyen aproximadamente el 75-95% de los pigmentos, mientras que el 5-25% restante corresponde a betaxantinas. Las concentraciones de betalaínas en las remolachas rojas oscilan entre 200 y 2100 mg/kg de peso fresco, siendo más abundantes en la cáscara y disminuyendo hacia el interior de la raíz (Stintzing & Carle, 2004). En remolachas frescas, se identificaron dos precursores de betalaína (ácido betalámico y ciclo-DOPA) y ocho betacianinas junto con sus productos de degradación (Sawicki & Wiczowski, 2018).

Las betacianinas aciladas pueden interactuar con diferentes medios agua, aceite, ácido o alcohol; por ejemplo, se conoce que al interactuar con ácido se desacilan rápidamente y dichos pigmentos pueden pasarse por alto, es por ello que para realizar una extracción de este tipo de pigmento es recomendable realizarlo con agua fría durante un período prolongado y en condiciones de oscuridad. (Strack et al., 1993).

Existen reacciones químicas que afectan la estabilidad del color como oxidación, reducción o hidrólisis.

- **Oxidación:** el oxígeno provoca el oscurecimiento del producto y la pérdida de color. En un estudio realizado por von Elbe, Maing & Amundson, (1974) almacenaron soluciones tamponadas de betanina a un pH 7 bajo una atmósfera de aire y nitrógeno durante 6 días a 15°C; se observó que la degradación del color aumenta hasta un 15% debido a las condiciones del aire. La betanina reacciona con el oxígeno molecular, produciendo la degradación del pigmento en soluciones saturadas de aire (Attoe & Von Elbe, 1985).
- **Deshidrogenación:** ocurre durante el calentamiento de la betacianina que conduce a la formación de neobetanina, responsable del cambio de color a amarillo.
- **Descarboxilación:** el color de la betanina se conserva tras la isomerización o descarboxilación de C15, pero la descarboxilación de C17 da como resultado un cambio hipsocrómico del máximo de absorción de 538 a 505 nm, que se ve como una aparición de un color rojo anaranjado (Herbach et al., 2004)(**Figura 1**).

**Figura 1:** Vías de degradación de la Betanina



**Nota:** esquema detallado de las reacciones químicas que conducen a la

formación y modificación de pigmentos naturales derivados de betalainas, incluyendo la betanina e isobetanina. Partiendo de precursores como la Cyclo-DOPA-4-O-β glucoside (sin color) y el ácido betalámico (amarillo brillante), se forman betaninas rojas mediante la formación de enlaces aldímicos.

**Autores:** (Sadowska-Bartosz & Bartosz, 2021)

- **Propiedades Biológicas:** la betalaina es pigmento presente en *más de 17 familias de plantas de cariofiláceas*. (Rahimi et al., 2019), como Amaranthaceae, Basellaceae, Cactaceae, Portulacaceae, Nyctaginaceae, entre otras. Estos pigmentos también se encuentran en algunos géneros y especies de hongos como *Hygrocybe*, *Hygrophorus* y *Amanita muscaria*. Además de la remolacha, existen otras fuentes vegetales que se utilizan para la producción de betalaina como ciertas especies de los géneros *Opuntia* y *Amaranthus* y frutos de pitaya (*Hylocereus andatus*) (Soria-Aguilar Ma. de Jesús et al., 2015).

Las betalainas son hidrófilas y se acumulan en las vacuolas de las células, principalmente en los tejidos epidérmicos y subepidérmicos de las plantas que

sintetizan estos pigmentos (Wink, 1997). La síntesis de las betalainas comienza con lisina, y las betalainas contienen el cromóforo ácido betalámico (Rahimi et al., 2019). Además, las betalainas se clasifican en betacianinas rojas y betaxantinas amarillas, las cuales se sintetizan en el citosol y luego se transportan a las vacuolas (Polturak & Aharoni, 2018).

### **Extracción y Purificación de Pigmentos Naturales**

Existen métodos tradicionales y modernos de extracción (maceración, destilación, cromatografía). La extracción tradicional de pigmentos a partir de fuentes vegetales dependerá de la especie vegetal con la que se esté trabajando y de las propiedades que se espera del pigmento extraído (Nduka et al., 2018a).

La extracción con disolventes orgánicos como etanol, metanol y acetona es considerada como un método tradicional para extraer pigmentos a partir de fuentes naturales. De acuerdo con (Sivakumar et al., 2011), la extracción con disolventes es más eficiente cuando se combina con técnicas cromatográficas.

### **Técnicas modernas de extracción de pigmentos naturales**

Varios estudios que reportan las técnicas modernas para la extracción de pigmentos como la extracción con fluidos supercríticos (SFE), extracción asistida por microondas (MAE), extracción asistida por ultrasonidos (UAE) y utilización de enzimas (Helmy, 2020).

La SFE, utiliza fluidos supercríticos como el dióxido de carbono como solventes, para la extracción de pigmentos naturales. Esta técnica ofrece algunas ventajas como: alta selectividad, baja toxicidad, fácil eliminación después de la extracción y mínimo impacto ambiental (Bhatti, Khan & Iqbal, 2014). Esta técnica se ha sido eficiente al emplearse para extraer pigmentos de diversas fuentes naturales (Kumar & Senthil Kumar, 2020).

Por otro lado, la extracción asistida por microondas (MAE) se destaca por su rapidez y eficiencia, debido a la irradiación por microondas que genera un calentamiento directo en el material vegetal. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada para extraer pigmentos de fuentes vegetales, logrando un mayor rendimiento y tiempos de extracción más cortos en comparación con los métodos tradicionales (Chungkrang et al., 2021; Kumar & Senthil Kumar, 2020; Nduka et al., 2018b). Finalmente, la extracción asistida por ultrasonidos (UAE) facilita la transferencia de masa y altera las estructuras celulares, lo que aumenta la eficiencia del proceso de extracción y reduce significativamente el tiempo necesario para completar la extracción (Herbach et al., 2004).

**Tabla 1:** Mecanismos de extracción de Compuestos Bioactivos y sus Mecanismos

Extraction Method	Mechanism
UAE	Utilizes sound waves for inducing cavitation in the solution, thereby facilitating the extraction process.
MAE	Generates heat within the solvent by employing ionic conduction of the dipole rotation and dissolved ions in the polar solvent.
PEF	Applies high-voltage microsecond pulses to induce pores in cell membranes, resulting in the disruption of barrier function and leakage of intracellular content.
PLE	Utilizes organic solvents under high pressures and temperatures, exceeding the boiling point, amplifying the solubility of analytes, and reducing solvent viscosity. This approach minimizes the required time and solvent volume.
SuperFE	Utilizes CO <sub>2</sub> in supercritical state as extraction solvent, segregating the analytes according to their relative solubility. Supercritical CO <sub>2</sub> has a high density and solvent power, similar to that of a liquid.
SubFE	Extracts less-polar compounds using water or other fluids in subcritical conditions under high pressures and high temperatures, sustaining subcritical fluids in a liquid state for a brief extraction period.
EAE	Encompasses the binding of cells to the active site of an enzyme, which induces a transformation of the enzyme form to adapt to the substrate. Consequently, the active components are released from the cells into the extraction medium.

**Nota:** comparativa de varios métodos de extracción de compuestos bioactivos, destacando los mecanismos detrás de cada técnica

**Autores:** Morón-Ortiz et al., 2024

## Protocolos para la extracción de pigmentos específicos

**Protocolo # 1** Extracción de pigmentos de diferentes fuentes vegetales mediante maceración (Salinas- Muñoz, 2020)

- 1. Preparación de la muestra:** se utiliza 40 gramos de materia vegetal (ramas, hojas y flores). El material vegetal debe ser enjuagado para eliminar partículas de polvo e insectos que pueden “ensuciar” el colorante.
- 2. Primera maceración:** se remoja el material vegetal en un recipiente, reposando por un mínimo de 12 horas y cubriendo la totalidad de este con agua, se recomienda picar el vegetal, para liberar más colorante y utilizar menos volumen en la olla (2,5 litros de agua).
- 3. Primera cocción:** hervir el líquido de remojo y vegetal macerado a fuego lento durante 40 minutos, con el fin de obtener el colorante. Se tapan las ollas para evitar la evaporación del colorante y la necesidad de agregar agua a la cocción.
- 4. Segunda maceración:** el material vegetal y el colorante, recién obtenido, se dejan reposar en la olla por 12 horas como mínimo. Esto permite que el color se desarrolle mejor.
- 5. Filtrar colorante:** separación del pigmento del vegetal, para conseguir un colorante “limpio” libre de residuos, se puede realizar de diferentes maneras, pero el uso de otro recipiente facilitara el proceso y puede ser lavado o enjuagado con agua. El vegetal puede ser recogido con la ayuda de un cucharón, pero el método más eficiente es cernir el líquido por un colador o un trozo de tela de algodón de tejido semidenso que no permitan el traspaso de partículas vegetales.
- 6. Concentración del pigmento:** Una vez que filtrado el colorante se tiene el líquido “limpio”, se procede a reducir la cantidad de agua mediante una cocción lenta, sin tapar la olla, para permitir que el agua se evapore. Esto reducirá el volumen de líquido y concentrará el pigmento, formando una pasta densa.
- 7. Secado del pigmento:** una vez que el colorante se ha reducido a una pasta, se necesita secar completamente, puede ser al aire libre, usando un horno a temperaturas de 50 a 70°C o usando un equipo de liofilización según las propiedades del material vegetal.
- 8. Triturado:** se puede triturar la pasta seca utilizando un mortero o un procesador de alimentos, hasta obtener un polvo fino.

**Protocolo # 2** Extracción sin uso de solventes químicos (Ramadhany et al., 2020)

1. Se limpia, lava y corta en trozos pequeños el material vegetal y se tritura con un procesador de alimentos
2. El material vegetal se debe filtrar y se centrifugar a 10,000 rpm durante 5 minutos hasta obtener jugo
3. Se le coloco al jugo mordientes (alumbre y jugo de lima) y se agita a alta velocidad y a temperatura ambiente durante 30 minutos, para poder extraer el pigmento. El mordiente puede causar que el pigmento se vuelve más claro y brillante debido al ácido cítrico que es un antioxidante y blanqueador natural.

**Protocolo # 3** Extracción con solventes orgánicos y extracción asistida con microondas (Van Nong et al., 2016).

Se debe lavar el material vegetal con agua normal y luego con agua destilada. Luego, se pelan, se trituran en pequeños hilos para realizar la extracción. Los diferentes solventes que se pueden utilizarse son etanol absoluto, hexano e isopropanol de grado puro.

### **1. Método convencional de extracción con disolventes**

- En un vaso de precipitación de 3L, se coloca 1kg de las fibras del rizoma del material vegetal y se mezcla con 1L de etanol absoluto, se remoja y se agita. Esta extracción se realiza a temperatura ambiente.
- Se tapa el vaso de precipitados para evitar la pérdida de etanol y se deja reposar durante una semana.
- Luego los extractos se filtran por separado al vacío y se retira el etanol y almacena para su uso como composición seca.
- El extracto de etanol preparado se transfiere al matraz de fondo redondo de un evaporador rotatorio y se calienta a una temperatura máxima de 45 °C.
- El etanol condensado se recoge a través de un condensador con el fin de reutilizarlo en extracciones posteriores, y el resto de la solución extraída que está libre de disolvente se retira del matraz para la precipitación de curcumina con hexano.
- El polvo resultante se almacena en una botella ámbar hasta que se necesita y se pesa.

## 2. Extracción asistida por microondas

Para la extracción por microondas se utiliza un sistema de extracción compuesto por un horno microondas doméstico fabricado, equipado con un magnetrón de 2450 MHz con una potencia máxima nominal de 1000 W, 10 niveles de potencia, controlador temporizado, sensores de temperatura de convección y sistema de escape.

La extracción asistida por microondas se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Se coloca 1 kg de hebras del material vegetal fresca en un recipiente de vidrio y se irradia durante un periodo de tiempo predefinido (1, 3, 5 min) a una potencia de microondas de 200 W.
- Después de la irradiación, se vierte el etanol absoluto en las hebras largas del material vegetal (relación masa: disolvente 1:1 p/v), y se irradian a una potencia de microondas de 800 W durante 2, 4 y 6 min.
- Después del periodo de extracción definido, las muestras se recogen del recipiente de extracción, se filtran y se someten a un aspirado rotatorio para eliminar el disolvente, hasta que el volumen de la solución permanece en un 30 % en comparación con el original.
- Luego se saca la solución del matraz y luego se cristaliza con hexano.
- Finalmente, la muestra en polvo se pesa

**Se pueden usar fijadores de color entre los más comunes son** (Morón-Ortiz et al., 2024):

- **Cloruro de sodio o sal común**, cuya fórmula molecular es NaCl. No es cancerígeno ni bioacumulativo, no es considerado como peligroso para el transporte y el medioambiente, pero pueden afectar algunas células somáticas y microorganismos, es degradable pero no debe ser descargada en fuentes de agua directas, además, pueden actuar sobre la capacidad de absorción de nutrientes del suelo por parte de las plantas cuando se presentan descargas en grandes cantidades.

- **Bicarbonato de sodio o carbonato ácido de sodio**, compuesto sólido inorgánico de fórmula molecular  $\text{NaHCO}_3$ , soluble en agua. No es cancerígeno. Es irritante al ser inhalado o ingerido en grandes cantidades. Para su eliminación se la sustancia se degrada en agua, no es bioacumulativo en personas, pero si en peces.
- **Cremor tártaro o bitartrato de potasio**, fórmula  $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ , subproducto de la fermentación de uva y proveniente de la sal ácida del potasio del ácido tartárico y utilizado en gastronomía. No es cancerígeno, ni bioacumulativo, es un material fácilmente degradable, no se han publicado efectos tóxicos para especies acuáticas. No presenta problemas de seguridad a su interacción y debe ser diluido antes de su eliminación.
- **Ácido cítrico** proveniente del jugo exprimido de limones, la fórmula molecular del ácido cítrico es  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ , un ácido orgánico tricarboxílico degradable, se comercializa en polvo, pero también se presenta en la mayoría de las frutas, en el zumo de limón se presenta en una concentración del 5% al 6%. Es fácil de obtener en frutas, es seguro de manejar y para el ambiente. Es degradable y soluble en agua, no es cancerígeno, ni bioacumulativo, además no presentan toxicidad en el sistema reproductivo ni en el medio acuático.

Si se requiere analizar la intensidad de color del pigmento se lo puede realizar mediante espectrofotómetro y se prepara en una solución de 1 mg/mL para el análisis de contenido mediante el método HPLC/MS.

La producción de pigmentos vegetales presenta varios desafíos. Uno de los principales es la variabilidad del color obtenido de una misma fuente vegetal, lo que dificulta lograr tonos uniformes y complica la identificación y cuantificación de los pigmentos individuales presentes en una planta específica (Solanki, 2020) (González-Mas et al., 2019). Otro obstáculo importante es que el proceso de extracción y preparación de tintes vegetales puede ser largo, además de requerir conocimientos especializados y equipos avanzados (Joshi & Kuriyal, 2023) A esto se suma el hecho de

que los tintes vegetales tienden a desvanecerse con el tiempo, lo que afecta la durabilidad de los productos teñidos (Alegbe & Uthman, 2024).

Sin embargo, la innovación continua en los métodos de extracción y estabilización promete ampliar la gama de colores naturales disponibles, superando algunas de las limitaciones actuales relacionadas con la intensidad y la durabilidad del color

### **DISCUSIÓN**

- La extracción de pigmentos vegetales, particularmente de fuentes como la remolacha roja (*Beta vulgaris*), es un campo que presenta tanto retos como oportunidades.
- La variabilidad en los colores obtenidos de los pigmentos puede atribuirse a factores como el método de extracción, el tipo de materia prima utilizada y las condiciones ambientales durante el proceso.
- Cada método de extracción presenta sus propias ventajas y desventajas, lo que resalta la necesidad de un enfoque selectivo según la aplicación final del pigmento.
- Las condiciones ambientales, como el pH, la temperatura y la luz, juegan un papel crucial en la estabilidad y durabilidad de los pigmentos extraídos. A pesar de que las betalainas, como las betacianinas y betaxantinas, presentan una buena estabilidad en condiciones ácidas, su susceptibilidad a la degradación por oxidación y exposición a la luz sugiere que deben manejarse cuidadosamente en aplicaciones industriales y alimentarias.

### **CONCLUSIÓN**

- La extracción de pigmentos de remolacha roja y otros vegetales presenta un gran potencial para la producción de colorantes naturales sostenibles.
- La investigación y desarrollo de métodos de extracción más eficientes, junto con el uso de fijadores que estabilicen los pigmentos, son fundamentales para superar los desafíos actuales de variabilidad y durabilidad.
- Los hallazgos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de las betalainas subrayan su valor como alternativas a los colorantes sintéticos en diversas aplicaciones, desde la industria alimentaria hasta la cosmética y textil.

- La combinación de métodos de extracción innovadores y un enfoque en la sostenibilidad puede promover la producción de colorantes naturales de alta calidad que respondan a las demandas del mercado contemporáneo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegbe, E. O., & Uthman, T. O. (2024). A review of history, properties, classification, applications and challenges of natural and synthetic dyes. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 13). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33646>
- Attoe, E. L., & Von Elbe, J. H. (1985). *Oxygen Involvement in Betanine Degradation: Effect of Antioxidants* (Vol. 50, pp. 106–110).
- CALDERÓN CENTENO LUIS RAFAEL, & MORILLO ORTEGA GARY FRANCISCO. (2019). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS (RECOCIDO Y REVENIDO), EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 7075-T651 MEDIANTE ENSAYOS DE TRACCIÓN*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Chungkrang, L., Bhuyan, S., & Phukan, A. R. (2021). Natural Dyes: Extraction and Applications. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(01), 1669–1677. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1001.195>
- Davies, K. (2004). *Plant pigments and their manipulation* (J. Robert, H. Imaseki, & J. Rose, Eds.; Vol. 14). Blackwell.
- Dikshit, R., & Tallapragada, P. (2018). Comparative Study of Natural and Artificial Flavoring Agents and Dyes. In *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes* (pp. 83–111). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811518-3.00003-x>
- Fu, Y., Shi, J., Xie, S. Y., Zhang, T. Y., Soladoye, O. P., & Aluko, R. E. (2020). Red Beetroot Betalains: Perspectives on Extraction, Processing, and Potential Health Benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(42), 11595–11611. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04241>

- Gandía-Herrero, F., Escribano, J., & García-Carmona, F. (2016). Biological Activities of Plant Pigments Betalains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(6), 937–945. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.740103>
- Gengatharan, A., Dykes, G. A., & Choo, W. S. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. In *LWT* (Vol. 64, Issue 2, pp. 645–649). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.052>
- Helmy, H. (2020). Extraction approaches of natural dyes for textile coloration. *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/jtcps.2020.30990.1037>
- Herbach, K. M., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2004). Impact of Thermal Treatment on Color and Pigment Pattern of Red Beet (*Beta vulgaris* L.) Preparations. In *JOURNAL OF FOOD SCIENCE* (Vol. 69, Issue 6). [www.ift.org](http://www.ift.org)
- Joshi, R. K., & Kuriyal, S. K. (2023). Dyeing textiles with eco-friendly natural dyes: A brief review. *International Journal of Global Science Research*, 10(1). <https://doi.org/10.26540/ijgsr.v10.i1.2023.237>
- Kumar, J. A., & Senthil Kumar, M. (2020). A Study on Improving Dyeability of Polyester Fabric Using Lipase Enzyme. *Autex Research Journal*, 20(3), 243–249. <https://doi.org/10.2478/aut-2019-0030>
- Morón-Ortiz, Á., Mapelli-Brahm, P., & Meléndez-Martínez, A. J. (2024). Sustainable Green Extraction of Carotenoid Pigments: Innovative Technologies and Bio-Based Solvents. In *Antioxidants* (Vol. 13, Issue 2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/antiox13020239>
- Nduka, D. O., Ameh, J. O., Joshua, O., & Ojelabi, R. (2018a). Awareness and benefits of self-curing concrete in construction projects: Builders and civil engineers perceptions. *Buildings*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/buildings8080109>
- Nduka, D. O., Ameh, J. O., Joshua, O., & Ojelabi, R. (2018b). Awareness and benefits of self-curing concrete in construction projects: Builders and civil engineers perceptions. *Buildings*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/buildings8080109>
- Ortiz Miguel Aguilera, Reza María del Carmen, Madinaveitia Rodolfo Gerardo Chew, & Meza Velázquez Jorge Armando. (2011). Propiedades funcionales de las Antocianinas . *Revista Biotecnica*, 3, 16–22.

- Patel, B. H. (2011). Natural dyes. In *Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes* (Vol. 1, pp. 395–424). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1533/9780857093974.2.395>
- Polturak, G., & Aharoni, A. (2018). “La Vie en Rose”: Biosynthesis, Sources, and Applications of Betalain Pigments. In *Molecular Plant* (Vol. 11, Issue 1, pp. 7–22). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.10.008>
- Rahimi, P., Abedimanesh, S., Mesbah-Namin, S. A., & Ostadrahimi, A. (2019). Betalains, the nature-inspired pigments, in health and diseases. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 59, Issue 18, pp. 2949–2978). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1479830>
- Ramadhany, P., Witono, J. R., & Putri, O. (2020). Formulation of Curcumin as Natural Dye on Polyester. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 742(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/742/1/012023>
- Rodríguez-Mena, A., Ochoa-Martínez, L. A., González-Herrera, S. M., Rutiaga-Quiñones, O. M., González-Laredo, R. F., Olmedilla-Alonso, B., & Vega-Maturino, S. (2023). Coloring potential of anthocyanins from purple sweet potato paste: Ultrasound-assisted extraction, enzymatic activity, color and its application in ice pops. *Food Chemistry Advances*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100358>
- Sadowska-Bartosz, I., & Bartosz, G. (2021). Biological properties and applications of betalains. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26092520>
- Sawicki, T., & Wiczkowski, W. (2018). The effects of boiling and fermentation on betalain profiles and antioxidant capacities of red beetroot products. *Food Chemistry*, 259, 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.143>
- Sharma, M., Hussain, S., Shalima, T., Aav, R., & Bhat, R. (2022). Valorization of seabuckthorn pomace to obtain bioactive carotenoids: An innovative approach of using green extraction techniques (ultrasonic and microwave-assisted extractions) synergized with green solvents (edible oils). *Industrial Crops and Products*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114257>
- Singer, J. W., & Von Elbe, J. H. (1980). DEGRADATION RATES OF VULGAXANTHINE I. *Journal of Food Science*, 45, 489–491.

- Sivakumar, V., Vijaeeswarri, J., & Anna, J. L. (2011). Effective natural dye extraction from different plant materials using ultrasound. *Industrial Crops and Products*, 33(1), 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.007>
- Solanki, H. A. (n.d.). *NATURAL TEXTILE DYEING: a REVIEW*. <https://www.researchgate.net/publication/372514203>
- Soria-Aguilar Ma. de Jesús, Reyes-Guzmán Facundo, Carrillo-Pedroza Francisco Raúl, García-Garza Fernando, Álvarez-Jiménez Humberto, & Silva-Guajardo Luis Antonio. (2015). Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades mecánicas y microestructura de un acero para tubería API 5CT J55. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XVI(1405-7743 FI-UNAM), 539–550.
- Stintzing, F. C., & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 15, Issue 1, pp. 19–38). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.004>
- Strack, D., Vogt, T., & Schliemann, W. (2003). Recent advances in betalain research. *Elsevier*, 62(S0031-9422(02)00564-2), 247–269. [www.elsevier.com/locate/phytochem](http://www.elsevier.com/locate/phytochem)
- Van Nong, H., Hung, L. X., Thang, P. N., Chinh, V. D., Vu, L. Van, Dung, P. T., Van Trung, T., & Nga, P. T. (2016). Fabrication and vibration characterization of curcumin extracted from turmeric (*Curcuma longa*) rhizomes of the northern Vietnam. *SpringerPlus*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2812-2>
- Wink, M. (1997). Compartmentation of Secondary Metabolites and Xenobiotics in Plant Vacuoles. In *PlantPathology* (Vol. 25, pp. 141–167).

**Conflicto de intereses**

Los autores indican que esta investigación no tiene conflicto de intereses y, por tanto, acepta las normativas de la publicación en esta revista.

**Con certificación de:**

