

Artículo de Revisión

**PRODUCCIÓN Y APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA
FICOCIANINA COMO PIGMENTO BIOACTIVO**

**PRODUCTION AND INDUSTRIAL APPLICATIONS
OF PHYCOCYANIN AS A BIOACTIVE PIGMENT**

Estela Guardado Yordi^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-0515-6720>
Lianne de la C. León Guardado² <https://orcid.org/0009-0006-7697-8082>
Manuel Lázaro Pérez Quintana¹ <https://orcid.org/0000-0001-9470-0101>
Reinier Abreu-Naranjo¹ <https://orcid.org/0000-0003-1048-7126>
Amaury Pérez Martínez¹ <https://orcid.org/0000-0003-3978-7982>

¹ Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra,
Carrera de Agroindustria, Puyo, Pastaza, Ecuador.

² Investigador Independiente, Camagüey, Cuba.

Recibido: Marzo 4, 2025; Revisado: Marzo 9, 2025; Aceptado: Marzo 17, 2025

RESUMEN

Introducción:

La ficocianina (FC) es un biopigmento obtenido principalmente de *Arthrospira platensis* (espirulina), con amplias aplicaciones en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Su creciente demanda se debe a su seguridad, estabilidad química y propiedades bioactivas, como actividad antioxidante y antiinflamatoria. No obstante, su extracción y purificación enfrentan desafíos tecnológicos y económicos que limitan su expansión comercial.

Objetivo:

Evaluar el potencial de la FC como biopigmento natural, sus aplicaciones industriales, métodos de extracción y purificación, así como los principales retos y oportunidades para su producción y comercialización.

Materiales y Métodos:

Se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos científicas como ScienceDirect, Springer-Nature, SciELO, Taylor & Francis, PubMed y Google Scholar, considerando



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Estela Guardado, Email: e.guardadoy@uea.edu.ec



estudios publicados entre 2015 y 2025 sobre producción, extracción y aplicaciones de la FC.

Resultados y Discusión:

La FC es una alternativa viable a los colorantes sintéticos, con aplicaciones en diversas industrias. Métodos avanzados de extracción, como ultrasonido, campos eléctricos pulsados y fluidos supercríticos, han mejorado su pureza y rendimiento. Sin embargo, su alto costo y menor estabilidad siguen siendo limitantes.

Conclusiones:

La FC es un biopigmento prometedor. Su implementación a gran escala dependerá de innovaciones en producción, estrategias de estabilización y regulaciones que favorezcan su competitividad en el mercado global.

Palabras clave: bioactivos; colorante natural; ficocianina; microalgas; pigmento; procesamiento.

ABSTRACT

Introduction:

Phycocyanin (PC) is a biopigment obtained mainly from *Arthrospira platensis* (spirulina), with wide applications in food, cosmetics, and pharmaceutical industries. Its growing demand is due to its safety, chemical stability, and bioactive properties, such as antioxidant and anti-inflammatory activity. However, its extraction and purification face technological and economic challenges that limit its commercial expansion.

Objective:

To evaluate the potential of PC as a natural biopigment, its industrial applications, extraction and purification methods, and the main challenges and opportunities for its production and commercialization.

Materials and Methods:

A bibliographic review was carried out in scientific databases such as ScienceDirect, Springer-Nature, SciELO, Taylor & Francis, PubMed, and Google Scholar, considering studies published between 2015 and 2025 on the production, extraction, and applications of PC.

Results and Discussion:

PC is a viable alternative to synthetic dyes, with applications in various industries. Advanced extraction methods, such as ultrasound, pulsed electric fields, and supercritical fluids, have improved its purity and yield. However, its high cost and lower stability remain limitations.

Conclusions:

PC is a promising biopigment. Its large-scale implementation will depend on innovations in production, stabilization strategies, and regulations that favor its competitiveness in the global market.

Keywords: bioactive; natural dye; phycocyanin; microalgae; pigment; processing.

1. INTRODUCCIÓN

La ficocianina (FC) es un pigmento de color azul que se encuentra principalmente en cianobacterias como la espirulina (*Arthrospira platensis*) y en microalgas glaucofitas, rodofitas y criptofitas. Según el tipo de ficocianina, se pueden encontrar: C-FC (C-ficocianina): ficocianina tipo C, común en *A. platensis* y R-FC (R-ficocianina) ficocianina tipo R, presente en algunas algas rojas. Es una ficobiliproteína (FBP) que se encuentra presente en compuestos marinos y que está siendo ampliamente estudiada en la actualidad (Mohibbullah y col., 2022; Moukham y col., 2024; Insi, 2025). Juntamente con otras FBP como la aloficocianina y ficoeritrina, constituyen los ficobilisomas principales recolectores de luz en las cianobacterias y algunos phyla de microalgas (Vera-López Portillo y col., 2021). Este pigmento puede capturar energía luminosa en longitudes de onda donde la capacidad de absorción de luz por la clorofila es menor (Ashaolu y col., 2021).

La FC es considerada un componente bioactivo con potencial biofarmacéutico, aunque también de interés para las industrias alimentaria y cosmética. Además, puede emitir fluorescencia, lo que puede utilizarse como marcador bioquímico (Díaz y col., 2016; Lin y col., 2025). Es considerada un antioxidante natural. Además, ha demostrado en varios modelos experimentales efectos antiinflamatorios, efectos cicatrizantes en heridas de la piel y antidiabéticos (Chen y col., 2022; Dranseikienė y col., 2022; Liu y col., 2022). Se ha demostrado que puede ser neuroprotectora por mecanismos donde media la reducción de los procesos inflamatorios y protección del daño oxidativo provocado por radicales libres en condiciones de desbalance oxidativo (Mohibbullah y col., 2022; Moukham y col., 2024).

Existe actualmente un mercado con ventas millonarias para la FC, considerada también como biopigmento, que se proyecta al crecimiento en los próximos años. Esto se debe a la creciente demanda de pigmentos naturales ante los sintéticos y la preocupación del hombre por su salud (Shi y col., 2025). Sus principales aplicaciones hasta el momento son en la industria de alimentos y bebidas, la cosmética, el desarrollo de nutraceuticos, así como en sectores como alimento para animales y acuicultura (Maximize Market Research PVT. Ltd., 2024). Los beneficios comprobados de la FC para la salud, han impulsado el desarrollo de suplementos dietéticos formulados para mejorar la nutrición y el bienestar.

Esta revisión tiene como objetivo evaluar el potencial de la FC como biopigmento natural, sus aplicaciones industriales, métodos de extracción y purificación, así como los principales retos y oportunidades para su producción y comercialización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica basada en un enfoque documental no experimental, que inició con la recopilación y análisis de documentos científicos y materiales bibliográficos relacionados con los compuestos bioactivos presentes en fuentes marinas. Esta investigación es de tipo cualitativo-descriptivo, ya que se enfoca en aspectos relacionados con la demanda actual de la ficocianina (FC), sus aplicaciones industriales y generalidades sobre su producción, extracción y purificación.

Fuentes de información: La búsqueda de información bibliográfica se llevó a cabo en

bases de datos científicas reconocidas como ScienceDirect, Springer-Nature, Scielo, Taylor & Francis, PubMed y Google Scholar, considerando artículos de revistas indexadas, libros y reportes técnicos publicados en los últimos 10 años. Se priorizaron estudios revisados por pares y reportes de organismos internacionales sobre la producción y aplicaciones de la FC.

Criterios de búsqueda y selección: Se emplearon palabras clave como "ficocianina", "ficobiliproteínas", "extracción de ficocianina", "purificación de ficocianina", "aplicaciones industriales de ficocianina", "mercado de ficocianina", combinadas con operadores booleanos (*AND*, *OR*, *NOT*) para mejorar la precisión de los resultados.

Los criterios de inclusión fueron: artículos publicados entre 2015 y 2025, estudios que aborden la producción, extracción, purificación y aplicaciones de la FC, investigaciones que analicen tendencias de mercado y usos industriales de la FC, publicaciones en inglés y español.

Los criterios de exclusión fueron: documentos con información redundante o sin evidencia científica sólida, estudios con enfoques exclusivamente clínicos o médicos sin relación con la producción o aplicaciones industriales de la FC, publicaciones previas a 2015, salvo en casos de referencias fundamentales para el tema.

Análisis de la información: La información recopilada fue analizada de manera crítica, comparando diferentes estudios y reportes para identificar tendencias, avances en producción y purificación, y proyecciones del mercado de la FC. Se organizó la información en temáticas para facilitar su interpretación y discusión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Demanda y aplicaciones industriales de la ficocianina

El aumento de enfermedades provocadas por colorantes artificiales ha llevado a los consumidores a elegir colorantes naturales y constituye la causa fundamental de las investigaciones y crecimiento ascendente del mercado de la FC (The Food Tech, 2023). Se estima un mercado mundial de alrededor de 250 millones de dólares en esta década (Ashaolu y col., 2021). Según *Future Market Insights*, América del Norte lideró el mercado de ficocianina en 2022 y se anticipa que continuará haciéndolo en la próxima década. Este mercado está impulsado principalmente por el uso cada vez mayor de la sustancia en una variedad de industrias, incluidas la farmacéutica, de alimentos y bebidas y la cosmética (Future Market Insights, 2023).

El uso principal de este pigmento en el sector alimentario es como aditivo, ya que es un colorante natural aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) (Mao y col., 2024). En sus inicios fue utilizado con este fin para la elaboración de chicles y caramelos. Posteriormente, sus usos se han ampliado para incluir postres helados, glaseados para helados, mezclas y polvos para bebidas secas, recubrimientos y coberturas para postres, yogur, natillas, requesón, pudines, pan, gelatina y cereales listos para comer. Según el tipo de grado alimentario, el segmento de FC categorizado como E18 adquirirá una participación destacada en el mercado mundial como colorante alimentario, por su grado alimenticio (Forbes y col., 2023). Lo anterior se justifica no solo por la tendencia a pigmentos naturales sino también reforzados por el interés creciente por las marcas de etiqueta limpia que apoyan los colores naturales. Por otra parte, fuentes marinas como las algas, son consideradas

alimentos funcionales debido a la presencia de la FC, entre otros componentes bioactivos (Insi, 2025). Sus amplias aplicaciones en este sector se deben a su estabilidad química, una adecuada biodisponibilidad, seguridad e interacción con otros componentes de la matriz alimentaria, así como a sus propiedades promotoras de la salud (Patel y col., 2022).

La FC también se emplea con frecuencia como colorante azul natural en el sector de la cosmética para la elaboración de diversos productos. Se ha planteado que su incorporación como componente bioactivo en este tipo de matrices, está relacionado con un efecto antienvjecimiento, al reducir la actividad de la metaloproteinasa de la matriz y la hialuronidasa, inhibiendo la tirosinasa y previniendo así la producción de melanina (Lin y col., 2025).

Actualmente, el mercado de ficocianina en grado farmacéutico está siendo dominado por los países de Asia-Pacífico. En esta categoría es un pigmento azul con una gama de funciones biológicas, alta eficacia y baja toxicidad (Insi, 2025). Desde el punto de vista biofarmacéutico, se comienza a considerar la variedad de efectos farmacológicos que puede presentar la FC. Se ha demostrado la acción antioxidante *in vitro* e *in vivo*, por lo cual ha sido habilitado como ingrediente nutraceutico (Moukham y col., 2024). Sus actividades farmacológicas ya evidenciadas, ayudan a la protección hepática, renal. Se ha documentado su actividad anticancerígena por diferentes mecanismos, antiinflamatorios e inmunitarios (Insi, 2025).

La FC se emplea como bioactivo en suplementos nutricionales ya que fue autorizado hace algunos años y actualmente es uno de los pocos colorantes azules naturales reconocidos en Europa, Estados Unidos y Asia (Silva y col., 2020; Minić y col., 2024). Dichas propiedades como colorante, le ha permitido el uso en recubrimientos para medicamentos.

A pesar de estas potencialidades en el uso de este biopigmento como materia prima de diversas industrias, las alternativas sintéticas continúan siendo un obstáculo importante para el mercado. Esto se debe a que los colorantes sintéticos, ampliamente utilizados en diversas industrias, aún suelen preferirse por su menor costo, mayor estabilidad y rendimiento constante. Por lo que, en mercados sensibles a los costos, estos factores dificultan la competencia de los colorantes naturales como la ficocianina. Además, los colorantes sintéticos suelen tener una vida útil más larga y se ven menos afectados por las condiciones ambientales como la luz y el calor, lo que amplifica aún más su ventaja competitiva (Global Market Insights Inc, 2024).

El mercado de la FC debe enfrentar dichos retos mediante la innovación, la reducción de costos y un marketing eficaz para aumentar la expansión del mercado. El alto costo de los colorantes naturales, su pureza y sus extracciones constituyen actualmente un desafío. El alto costo de las actividades de investigación y desarrollo y el peligro de contaminación por algas son limitaciones actuales de la expansión del mercado (Nonglait y Gokhale, 2024). A pesar de estos retos se prevé que la obtención de FC en polvo sea la preferida dentro del mercado debido a la facilidad de uso, su fácil solubilidad y digestión (Global Market Insights Inc, 2024). Además, la forma en polvo ofrece una considerable flexibilidad de dosificación y permite la administración de una nutrición activa. En esta forma, sus usos como colorantes y componente funcional impactarán en los sectores de alimentos, bebidas y cosméticos.

3.2. Cultivo, extracción, purificación en la obtención de FC

De forma general macroalgas y microalgas constituyen las materias primas para la obtención de biopigmentos marinos (Rengarajan y col., 2013; Younas y col., 2021; Sun y col., 2023). Estas especies han sido identificadas como productoras de pigmentos comerciales bioactivos de origen natural y constituye en la actualidad una alternativa a los colorantes sintéticos (Patel y col., 2022). El proceso de fotosíntesis de las algas implica el uso de pigmentos como las clorofilas, ficobilinas y carotenoides para capturar y transformar la energía solar, lo cual permite la producción de pigmentos como la FC.

La obtención de ficocianina a escala productiva es a partir de cianobacterias como la espirulina (*Spirulina platensis* y *Spirulina maxima*) (Martelli y col., 2014; Lin y col., 2025; Wu y col., 2025). Las especificaciones para su producción dependen de varios factores ambientales, requiere de lagos, arena, estanques, aire limpio y puro.

La calidad de la FC como producto final se puede ver afectada por fluctuaciones en las condiciones ambientales, ya que es un producto extremadamente sensible a la temperatura. A pesar de ello, sus beneficios para la salud y su naturaleza no tóxica justifican el aumento de su demanda por parte de industrias de uso final (Global Market Insights Inc, 2024).

Se ha observado que todas las ficocianinas contienen el mismo cromóforo (ficocianobilina), sin embargo, existen diferencias en la estabilidad de estas moléculas debido a la composición aminoacídica de la parte proteica. Esta molécula, a diferencia de otras, presenta un mayor número de residuos cisteína capaces de formar los enlaces disulfuro que intervienen en la estabilidad de la proteína, sin afectar la estructura terciaria, ni secundaria (Eriksen, 2008).

Se han desarrollado diferentes métodos para la extracción de ficocianina, como molienda de perlas, ultrasonido, homogeneización a alta presión, campos eléctricos pulsados, microondas, método repetido de congelación y descongelación, tratamiento con lisozima y la combinación de estos métodos. La mayoría de estos métodos consumen mucho tiempo o energía y los extractos presentan baja pureza (Lin y col., 2025).

Su extracción de las cianobacterias es difícil porque la pared celular consta de cuatro capas: fibra, peptidoglicano, proteína y oligosacárido (Lin y col., 2025). Se considera que aún persisten inconvenientes de los métodos de extracción y en la baja estabilidad una vez removidos del extracto. Por lo que se han evaluado nuevas metodologías de extracción como los métodos de extracción el campo eléctrico pulsado (PEF). Se ha observado, que mediante esta tecnología la extracción del tipo C-FC, presenta una concentración y pureza relativamente altas al compararlas con otros métodos, que además de baja pureza, requieren de mucho tiempo (Pez y col., 2021).

En cuanto a los métodos de purificación de FC a partir de biomasa marina, se describen la cromatografía, precipitación con sulfato de amonio y filtración por membrana, así como caracterización y medición (Ashaolu y col., 2021).

Expertos analíticos de estudios de mercado, puntualizan que los avances tecnológicos en los métodos de extracción y purificación están contribuyendo a mejorar la calidad del producto y reducir los costos, lo que hace que la FC sea más accesible para las diversas aplicaciones antes mencionadas. Además, existe un aumento de las aprobaciones regulatorias en diferentes regiones, lo que está acelerando, aún más, su adopción en las

industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica (Global Market Insights Inc, 2024).

Una descripción general del proceso de producción de FC a partir de microalgas, parte del cultivo en grandes estanques abiertos o en fotobiorreactores cerrados (Romero y col., 2017). Los estanques abiertos, son más económicos y fáciles de construir y operar, pero presentan desafíos en cuanto al control de las condiciones de cultivo y la contaminación. Por otro lado, los fotobiorreactores cerrados ofrecen un mayor control sobre las condiciones de cultivo, como la luz, la temperatura y los nutrientes, lo que permite una mayor productividad y pureza de la biomasa obtenida (Guardado y col., 2024). La selección del fotobiorreactor puede depender del tipo de pigmento que se desea obtener, Romero y col., (2017) demostraron que un fotobiorreactor cilíndrico permite obtener los mayores contenidos de pigmentos la FC, el cual se recomienda utilizar realizando la cosecha en fase estacionaria, con extracción con regulador de fosfato tratado con hielo seco (Romero y col., 2017).

En cuanto a las condiciones óptimas de cultivo, estas incluyen alta intensidad de luz, temperatura controlada. Lin y col., (2025) demostraron que la FC extraída de polvo de espirulina era estable cuando la temperatura era inferior a 40 °C y que disminuye rápidamente a >60 °C con exposición a la luz (Lin y col., 2025). También resultan importantes los niveles adecuados de nutrientes como nitratos y fosfatos (Kunwong y col., 2024). Estas condiciones son esenciales para maximizar el crecimiento y la producción de biomasa de microalgas, impactando en el rendimiento, estabilidad y bioactividad antioxidante de la FC extraída (Lin y col., 2025). Una vez alcanzada la biomasa deseada, la espirulina, por ejemplo, se cosecha y se deshidrata mediante métodos como la liofilización o el secado por pulverización para preservar sus compuestos bioactivos (Mróz y col., 2024).

El control del cultivo de algas es fundamental, ya que la proliferación de algas nocivas representa un problema persistente debido a la producción de toxinas altamente peligrosas. Estudios recientes efectuados por Zhu y col., (2024) han utilizado la tecnología de cavitación hidrodinámica y nanoburbujas de ozono, que podrían tener aplicaciones en la extracción de compuestos bioactivos y en la optimización del cultivo de microalgas *in situ*. Aunque el objetivo principal de dicho estudio fue la reducción de floraciones algales y la mejora de la calidad del agua, algunos aspectos pueden relacionarse con la extracción o cultivo de algas lo cual impacta en mejoras en la disponibilidad de biomasa facilitando la ruptura de la estructura celular de las algas y la liberación de metabolitos intracelulares. Esto podría ser aprovechado para la extracción de compuestos bioactivos, como ficocianina, clorofila a y otros pigmentos valiosos (Zhu y col., 2024).

La extracción de la FC suele ser con solventes convencionales empleando técnicas de extracción acuosa. Generalmente, las extracciones se realizan con agua, solventes orgánicos, tales como acetona, metanol, etanol, entre otros o soluciones salinas, entre las que se cuentan: nitrato de sodio, cloruro de calcio, entre otras (Romero y col., 2017). Incluye etapas como la maceración, remojo, percolación, entre otros. Pero también se ha reportado que procesos repetidos, como la congelación y descongelación, extracción asistida por enzimas y técnicas de extracción novedosas como extracción asistida por ultrasonido, pueden influir en el resultado (Ashaolu y col., 2021). El proceso de extracción comienza con la ruptura celular. Los métodos de disrupción celular pueden

ser el factor más importante que influye en el rendimiento de la extracción y la pureza de los extractos. Puede realizarse utilizando homogeneización a alta presión, ultrasonidos o enzimas específicas (Pez y col., 2021). De ellos el más utilizado, actualmente, es la homogeneización a alta presión debido a eficacia y eficiencia para romper las paredes celulares de las microalgas, liberando los compuestos intracelulares como la FC (Elain y col., 2020; Hu y col., 2021). Además, permite procesar grandes volúmenes de biomasa de manera continua. La eficiencia con la que se rompen las células es directamente proporcional a la cantidad de FC que puede ser extraída.

Existen métodos emergentes en las técnicas de ruptura celular para la extracción de ficocianina generando como consecuencia un aumento en la eficiencia y reducción de los costos de producción. Uno de los más notables es el uso de tecnología de nanoburbujas (Zhu y col., 2024). Este método emplea burbujas extremadamente pequeñas que pueden penetrar las paredes celulares y causar su ruptura de manera eficiente. Otra variante es la extracción con fluidos supercríticos el cual es una técnica prometedora para obtener compuestos bioactivos de la espirulina de manera más eficiente que los métodos convencionales, pero requiere mayores investigaciones para controlar en los extractos la posible concentración de metales pesados como el plomo. Martí-Quijal y col., (2023) demostraron que es posible recuperar minerales, pigmentos y compuestos antioxidantes de manera eficiente y sostenible. También se ha investigado en el uso de ruptura celular asistida por microondas, que utiliza microondas para calentar rápidamente el interior de las células, causando su ruptura debido a la expansión térmica (Joardder y Karim, 2023). El ultrasonido es el más comúnmente utilizado a nivel industrial debido no solo a su eficacia sino también a la posibilidad de ser escalado para procesar grandes volúmenes de biomasa (Tavanandi y Raghavarao, 2020). La homogeneización a alta presión sigue siendo una técnica estándar debido a su eficacia comprobada (Akaberi y col., 2020). Sin embargo, las tecnologías de nanoburbujas y microondas están ganando terreno y podrían ser más prominentes en el futuro cercano a medida que se optimicen y validen para uso comercial.

3.3. Aplicaciones industriales

El polvo de ficocianina es la principal forma de comercialización de este biopigmento, el cual se convierte en materia prima de diversos productos, como suplementos dietéticos, cosméticos y productos farmacéuticos (Global Market Insights Inc, 2024). La comercialización de ficocianina líquida es menos frecuente, pero es ideal para productos de base líquida, como bebidas y suplementos líquidos, ya que debido a su solubilidad se logra una integración perfecta en este tipo de formulaciones. Esta forma de presentación puede satisfacer un mercado que busque colorantes naturales a base de líquidos.

En las industrias, especialmente en alimentos y bebidas, su uso es como pigmento sólido que aporta el color azul natural. El polvo seco facilita la incorporación en mezclas secas, suplementos y formulaciones sólidas, mejorando el atractivo estético de los productos. Su consumo es sencillo, ya que, al ser una proteína hidrosoluble, puede ser incorporada en todo de tipo de zumos, helados o batidos. Es preferible su consumo en platos fríos para evitar la pérdida de sus propiedades y sobre todo de su característico color azul. En la industria cosmética, esta forma de presentación también es deseada debido su estabilidad en formulaciones de maquillaje en polvo.

Su categorización según el grado se destaca la ficocianina E18 y la E25. La ficocianina E18 en el 2023, se posicionó en primer lugar en el mercado, es conocida por su mayor nivel de pureza y encuentra una amplia aplicación en productos farmacéuticos y alimenticios de alta gama donde la pureza es primordial (Thevarajah y col., 2024). Su calidad superior la hace favorable para formulaciones medicinales debido a sus posibles beneficios terapéuticos y en productos alimenticios que requieren colorantes naturales de primera calidad. Por otra parte, cuando se requiere un equilibrio entre pureza y rentabilidad se prefiere la FC E25 ya que también puede utilizarse en las industrias de alimentos, en confiterías y bebidas. Mientras tanto, FC E3.0, que presenta un nivel de pureza más bajo es la opción más rentable, se utiliza en aquellas formulaciones donde los estándares de pureza no son tan estrictos, como por ejemplo en productos cosméticos o colorantes alimentarios a granel.

4. CONCLUSIONES

1. La ficocianina (FC) es un biopigmento con alta demanda en la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y nutracéutica debido a su estabilidad química, bioseguridad y beneficios para la salud.
2. Su producción se ha optimizado mediante el cultivo de microalgas, principalmente *Arthrospira platensis*, pero la extracción y purificación siguen siendo desafíos debido a su fragilidad estructural.
3. Métodos innovadores como la extracción asistida por ultrasonido, campos eléctricos pulsados y fluidos supercríticos han mejorado la recuperación y pureza de la FC, aunque aún requieren validación para su escalado.
4. Su alto costo y menor estabilidad frente a colorantes sintéticos limitan su adopción masiva, por lo que es clave desarrollar formulaciones estabilizadas y reducir costos de producción.
5. La FC es una alternativa prometedora a los colorantes sintéticos y su éxito a gran escala dependerá de avances tecnológicos y regulaciones favorables en mercados internacionales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Estatal Amazónica por el apoyo en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- Akaberi, S., Krust, D., Müller, G., Frey, W., & Gusbeth, C., Impact of incubation conditions on protein and C-Phycocyanin recovery from *Arthrospira platensis* post-pulsed electric field treatment., *Bioresource Technology*, Vol. 306, 2020, 123099. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123099>
- Ashaolu, T.J., Samborska, K., Lee, C.C., Tomas, M., Capanoglu, E., Tarhan, Ö., Taze, B., & Jafari, S.M., Phycocyanin, a super functional ingredient from algae; properties, purification characterization, and applications., *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 193, Part B, 2021, pp. 2320-2331. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.064>
-

- Chen, H., Qi, H., & Xiong, P., Phycobiliproteins-A Family of Algae-Derived Biliproteins: Productions, Characterization and Pharmaceutical Potentials., *Marine Drugs*, Vol. 20, No. 7, 2022, pp. 450-451. <https://doi.org/10.3390/md20070450>
- Díaz, G., Marsán, V., y del Valle, L.O., Principales propiedades inmunomoduladoras y antiinflamatorias de la ficobiliproteína C-ficocianina., *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, Vol. 32, No. 4, 2016, pp. 447-454. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-02892016000400004&nrm=iso
- Dranseikienė, D., Balčiūnaitė-Murzienė, G., Karosienė, J., Morudov, D., Juodžiukynienė, N., Hudz, N., Gerbutavičienė, R.J., & Savickienė, N., Cyano-Phycocyanin: Mechanisms of Action on Human Skin and Future Perspectives in Medicine., *Plants*, Vol. 11, No. 9, 2022, 1249. <https://doi.org/10.3390/plants11091249>
- Elain, A., Nkounkou, C., Le Fellic, M., & Donnart, K., Green extraction of polysaccharides from *Arthrospira platensis* using high pressure homogenization., *Journal of Applied Phycology*, Vol. 32, No. 3, 2020, pp. 1719-1727. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02127-y>
- Eriksen, N.T., Production of phycocyanin-a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine., *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 80, No. 1, 2008, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1542-y>
- Forbes, T., García, M.A., Alarcón, J.I., y Armas, E., Empleo de ficocianina como colorante natural en la Industria Alimentaria., *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Vol. 23, No. 1, 2023, pp. 55-59. <https://revcitecal.iiiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/489>
- Future Market Insights., *Global Phycocyanin Market Snapshot (2023 to 2033)*. 2023. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/phycocyanin-market>
- Global Market Insights Inc., *Phycocyanin Market - By Product (Organic {By Form, By Application [Food & Beverages (Confectionary, Bakery, Dairy Products, Drinks), Medicines/Pharmaceutical, Nutraceuticals, Cosmetics, Biotechnology]}, Conventional) & Forecast, 2024-2032*, 2024. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/phycocyanin-market>
- Guardado, E., Pérez, A., Radice, M., Scalvenzi, L., Abreu-Naranjo, R., Uriarte, E., Santana, L., & Matos, M.J., Seaweeds as Source of Bioactive Pigments with Neuroprotective and/or Anti-Neurodegenerative Activities: Astaxanthin and Fucoxanthin., *Marine Drugs*, Vol. 22, No. 7, 2024, 327. <https://doi.org/10.3390/md22070327>
- Hu, D., Zhang, Z., Yuan, L., Li, W., Guo, Y., Zhang, R., Yang, X., & Peng, H., Load phycocyanin to achieve in vivo imaging of casein-porous starch microgels induced by ultra-high-pressure homogenization., *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 193, Part A, 2021, pp. 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.127>
- Insi, B.R., *Tamaño del mercado de ficocianina de grado farmacéutico, acciones 2032., 2025*. <https://www.businessresearchinsights.com/es/market-reports/pharmaceutical-grade-phycocyanin-market-100789>
- Joardder, M.U.H., & Karim, A., Pore Evolution in Cell Walls of Food Tissue during Microwave-Assisted Drying: An In-Depth Investigation., *Foods*, Vol. 12, No. 13,
-

- 2023, 2497. <https://doi.org/10.3390/foods12132497>
- Kunwong, S., Vinitnantharat, S., Powtongsook, S., & Hongsthong, A., Removing nutrients in recirculating aquaculture system wastewater from Nile tilapia culture via Spirulina cultivation: Optimizing sodium bicarbonate concentration and micronutrient supplementation., *Aquaculture*, Vol. 578, 2024, 740110. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740110>
- Lin, J., Pang, Y., Huo, Y., Jiang, J., Zhou, B., & Shang, C., Extraction, purification and characterization of Spirulina phycocyanin., *Algal Research*, Vol. 85, 2025, 103861. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103861>
- Liu, R., Qin, S., & Li, W., Phycocyanin: Anti-inflammatory effect and mechanism., *Biomedicine & Pharmacotherapy*, Vol. 153, 2022, 113362. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113362>
- Mao, M., Han, G., Zhao, Y., Xu, X., & Zhao, Y., A review of phycocyanin: Production, extraction, stability and food applications., *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 280, 2024, 135860. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135860>
- Martelli, G., Folli, C., Visai, L., Daglia, M., & Ferrari, D., Thermal stability improvement of blue colorant C-Phycocyanin from Spirulina platensis for food industry applications., *Process Biochemistry*, Vol. 49, No. 1, 2014, pp. 154-159. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2013.10.008>
- Martí-Quijal, F.J., Pallarés, N., Dawidowicz, K., Ruiz, M.-J., & Barba, F.J., Enhancing Nutrient Recovery and Bioactive Compound Extraction from Spirulina through Supercritical Fluid Extraction: Implications for SH-SY5Y Cell Viability., *Foods*, Vol. 12, No. 13, 2023, 2509. <https://doi.org/10.3390/foods12132509>
- Maximize Market Research PVT. Ltd., Phycocyanin Market: Global Industry Analysis and Forecast (2024-2030)., 2024. <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-phycocyanin-market/45492/>
- Minić, S., Gligorijević, N., Veličković, L., & Nikolić, M., Narrative Review of the Current and Future Perspectives of Phycobiliproteins' Applications in the Food Industry: From Natural Colors to Alternative Proteins., *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 25, No. 13, 2024, 7187. <https://doi.org/10.3390/ijms25137187>
- Mohibbullah, M., Haque, M.N., Sohag, A.A.M., Hossain, M.T., Zahan, M.S., Uddin, M.J., Hannan, Md.A., Moon, I.S., & Choi, J-S., A Systematic Review on Marine Algae-Derived Fucoxanthin: An Update of Pharmacological Insights., *Marine Drugs*, Vol. 20, No. 5, 2022, 279. <https://doi.org/10.3390/md20050279>
- Moukham, H., Lambiase, A., Barone, G.D., Tripodi, F., & Coccetti, P., Exploiting Natural Niches with Neuroprotective Properties: A Comprehensive Review., *Nutrients*, Vol. 16, No. 9, 2024, 1298. <https://doi.org/10.3390/nu16091298>
- Mróz, M., Parchem, K., Józwick, J., Domingues, M.R., & Kusznierevicz, B., The Impact of Different Drying Methods on the Metabolomic and Lipidomic Profiles of *Arthrospira platensis*., *Molecules*, Vol. 29, No. 8, 2024, 1747. <https://doi.org/10.3390/molecules29081747>
- Nonglait, D.L., & Gokhale, J.S., Review Insights on the Demand for Natural Pigments
-

- and Their Recovery by Emerging Microwave-Assisted Extraction (MAE)., *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 17, No. 7, 2024, pp. 1681-1705. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03192-0>
- Patel, A.K., Albarico, F.P.J.B., Perumal, P.K., Vadrade, A.P., Nian, C.T., Chau, H.T.B., Anwar, C., Mohi, H., Wani, Ud., Pal, A., Reetu Saini, R., Ha, L.H., Senthilkumar, B., Tsang, Y-S., Chen, C-W., Dong, C-D., & Singhania, R.R., Algae as an emerging source of bioactive pigments., *Bioresource Technology*, Vol. 351, 2022, 126910. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126910>
- Pez, D., Rocha, I., Damasceno, L., & Domeneghini, G., Phycocyanin from Spirulina: A review of extraction methods and stability., *Food Research International*, Vol. 143, 2021, 110314. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110314>
- Rengarajan, T., Rajendran, P., Nandakumar, N., Balasubramanian, M.P., & Nishigaki, I., Cancer Preventive Efficacy of Marine Carotenoid Fucoxanthin: Cell Cycle Arrest and Apoptosis, *Nutrients*, Vol. 5, No. 12, 2013, pp. 4978-4989. <https://doi.org/10.3390/nu5124978>
- Romero, L.d.l.Á., Guevara, M.Á., Gómez, B.J., Arredondo-Vega, B., Cortez, R., y Licet, B., Producción de pigmentos procedentes de *Arthrospira maxima* cultivada en fotobiorreactores., *Revista Colombiana de Biotecnología*, Vol. 19, No. 1, 2017, pp. 108-114. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n1.59671>
- Shi, J., Huang, M., Yang, Q., Xu, Y., Wu, J., Liu, H., Zhang, J., Zheng, F., & Dong, W., Relatively reliable and rapid identification of colorant compounds in food matrices by HPLC-DAD-QTOF-MS combined with theoretical calculation., *Food Chemistry*, Vol. 463, 2025, 141133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141133>
- Silva, S.C., Ferreira, I.C.F.R., Dias, M.M., & Barreiro, M.F., Microalgae-Derived Pigments: A 10-Year Bibliometric Review and Industry and Market Trend Analysis., *Molecules*, Vol. 25, No. 15, 2020, 3406. <https://doi.org/10.3390/molecules25153406>
- Sun, H., Yang, S., Zhao, W., Kong, Q., Zhu, C., Fu, X., Zhang, F., Liu, Z., Zhan, Y., Mou, H., & He, Y., Fucoxanthin from marine microalgae: A promising bioactive compound for industrial production and food application., *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 63, No. 26, 2023, pp. 7996-8012. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2054932>
- Tavanandi, H.A., & Raghavarao, K.S.M.S., Ultrasound-assisted enzymatic extraction of natural food colorant C-Phycocyanin from dry biomass of *Arthrospira platensis*., *LWT*, Vol. 118, 2020, 108802. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108802>
- The Food Tech., Alergia a los colorantes alimentarios: síntomas, causas y tratamiento., 2023. <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/alergia-a-los-colorantes-alimentarios-sintomas-causas-y-tratamiento/>
- Thevarajah, B., Nimarshana, P.H.V., Shehan, G.D., Boopathy, R., & Ariyadasa, T.U., Upcycling food processing industrial wastes in Spirulina cultivation: A perspective on the advancement of Sustainable Development Goal 12., *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 149, 2024, 104537. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104537>
- Vera-López, F., Montenegro-Herrera, C.A., Alvarado-Cosio, R.A., Martínez, A., y Porta, H., Ficocianina y su acumulación en la microalga roja *Galdieria sulphuraria*,
-

Revista BioTecnología, Vol. 25, No. 5, 2021, pp. 82-95. <https://smbb.mx/revista-biotecnologia-2021-vol-25-no-5/>

Wu, Y., Xue, H., Liu, F., Wang, X., Chen, L., Chen, M., Chiou, B-S., Zhou, X., Xue Jiao, X., & Zhong, F., Improving stability of phycocyanin under acidic conditions by surface patch binding induced complexation with gelatin., Food Hydrocolloids, Vol. 161, 2025, 110876. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110876>

Younas, U., Tehseen, S., Khan, F., & Niaz, K., Brown Algae (Fucoxanthin) Against Cancer. Nutraceuticals and Cancer Signaling: Clinical Aspects and Mode of Action., Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 99-127. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74035-1_6

Zhu, L., Li, P., Wang, C., Hu, J., Zhang, L., & Li, J., In-situ algal control by two-stage nanobubble technology in Taihu Lake: Efficacy and ecological impact., Environmental Research, 263, 2024, 120077. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120077>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dr.C. Estela Guardado Yordi. Conceptualización, redacción-revisión y edición.
 - Ing. Lianne de la C. León Guardado. Investigación, redacción-primera redacción, metodología.
 - Dr.C. Manuel Lázaro Pérez Quintana. Metodología.
 - Dr.C. Reinier Abreu-Naranjo. Redacción-revisión y edición
 - Dr.C. Amaury Pérez Martínez. Conceptualización y supervisión.
-