

Porphyridium cruentum: Antioxidantes que florecen entre mareas y luz *Porphyridium cruentum*: Antioxidants that flourish between tides and light

Mariana Rodríguez-Campos y Juan Carlos González-Hernández

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Morelia, Av. Tecnológico 1500, Col. Lomas de Santiaguito, Morelia 58120, Michoacán, México

Contacto: juan.gh@morelia.tecnm.mx

Resumen. Los radicales libres representan una amenaza constante para las células, pero ciertas microalgas han evolucionado para producir compuestos capaces de contrarrestar sus efectos. *P. cruentum*, una microalga marina de color rojo vibrante produce antioxidantes naturales que no solo le ayudan a sobrevivir en ambientes extremos, sino que también han demostrado tener posibles beneficios para la salud humana. Esta microalga cultivable en condiciones controladas produce pigmentos como la clorofila a, ficoeritrina y carotenoides, los cuales presentan actividad antioxidante comprobada. Su perfil bioactivo la hace adecuada para ser utilizada en la industria cosmética, alimentaria y ambiental. Por ello, este trabajo de investigación busca presentar un panorama general de los antioxidantes presentes en esta microalga, con el propósito de motivar el interés por su estudio y posible aplicación en distintas áreas.

Palabras clave. *P. cruentum*, microalgas rojas, ficoeritrina, antioxidantes naturales

Abstract. Free radicals represent a constant threat to cellular health, but certain microalgae have evolved to produce compounds capable of counteracting their effects. *P. cruentum*, a marine microalgae with a vibrant red color, synthesizes natural antioxidants that not only help it survive in extreme environments but also may offer potential health benefits to humans. This microalgae, which can be cultivated under controlled conditions, produces pigments such as chlorophyll a, phycoerythrin and carotenoids, which have proven antioxidant activity. Its bioactive profile makes it a promising candidate for application in the cosmetic, food, and environmental industries. Therefore, this research article aims to present an overview of the antioxidant compounds found in this microalgae, with the intention of increasing interest in their study and possible applications across various fields.

Key words. *P. cruentum*, red microalgae, phycoerythrin, natural antioxidants

¿Y si el próximo antioxidante natural no viniera de una fruta exótica, sino de una microalga roja microscópica?

Las microalgas son organismos microscópicos, mayoritariamente unicelulares, capaces de realizar fotosíntesis, lo que les permite transformar la luz solar y el dióxido de carbono en biomasa rica en compuestos de alto valor biológico. Habitan una enorme diversidad de ambientes acuáticos, tanto marinos como continentales, y han despertado un creciente interés en la biotecnología debido a su capacidad de sintetizar pigmentos, lípidos, proteínas y antioxidantes naturales con múltiples aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Hernández y Labbé, 2014).

Una de sus características más destacadas es su velocidad de reproducción bajo condiciones adecuadas, sin demandar grandes cantidades de agua, espacio o nutrientes, adaptándose con facilidad a sistemas de cultivo controlados. Las algas rojas (Figura 1) se distinguen por su coloración característica dada por el pigmento ficoeritrina.

Estas algas predominan en ambientes acuáticos de mayor profundidad, pues sus pigmentos le permiten captar longitudes de onda de la luz del sol que penetran más profundamente el agua, absorben la luz azul y reflejan la roja, lo cual le dan su característico color rojizo (González, 2017).

Características de *P. cruentum*

P. cruentum es una microalga unicelular perteneciente al grupo de las algas rojas. Su reproducción ocurre principalmente de forma asexual, a través de la formación de monosporas, es decir, células que se reproducen y se liberan desde la pared externa de la célula

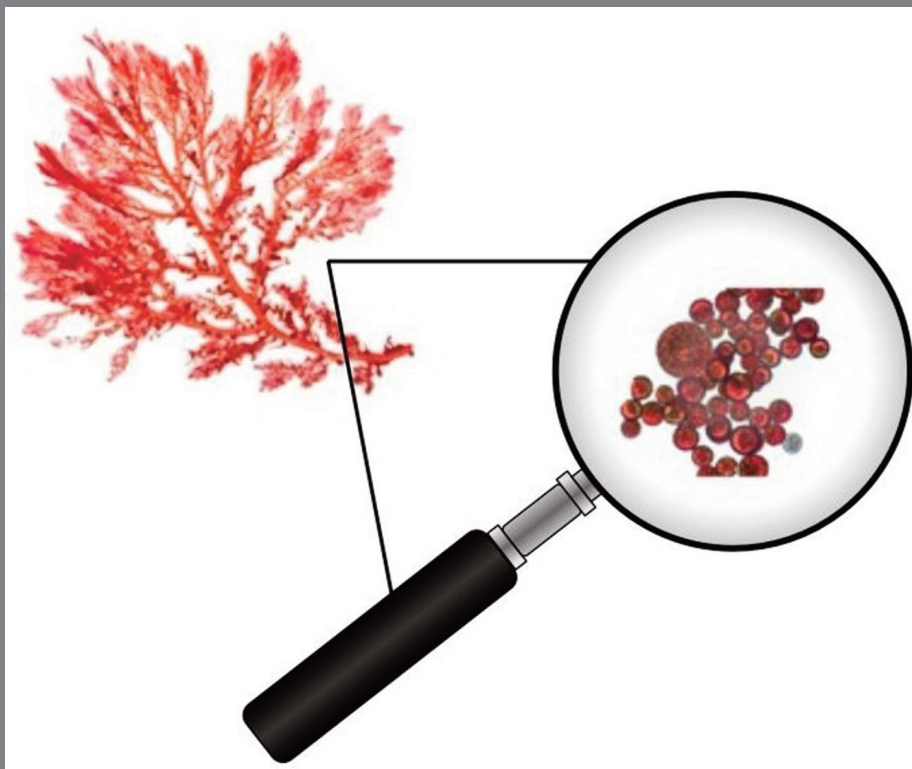


Figura 1. Microalga roja perteneciente al filo Rhodophyta, caracterizada por la presencia de pigmentos accesorios como ficobiliproteínas (ficoeritrina y ficocianina), que le otorgan su coloración rojiza. En el recuadro ampliado se observan sus células agrupadas en colonias, las cuales poseen gran importancia en estudios de metabolitos bioactivos y antioxidantes de interés biotecnológico (Tomado y modificado de <https://www.istockphoto.com/es/fotos/microalgas>).

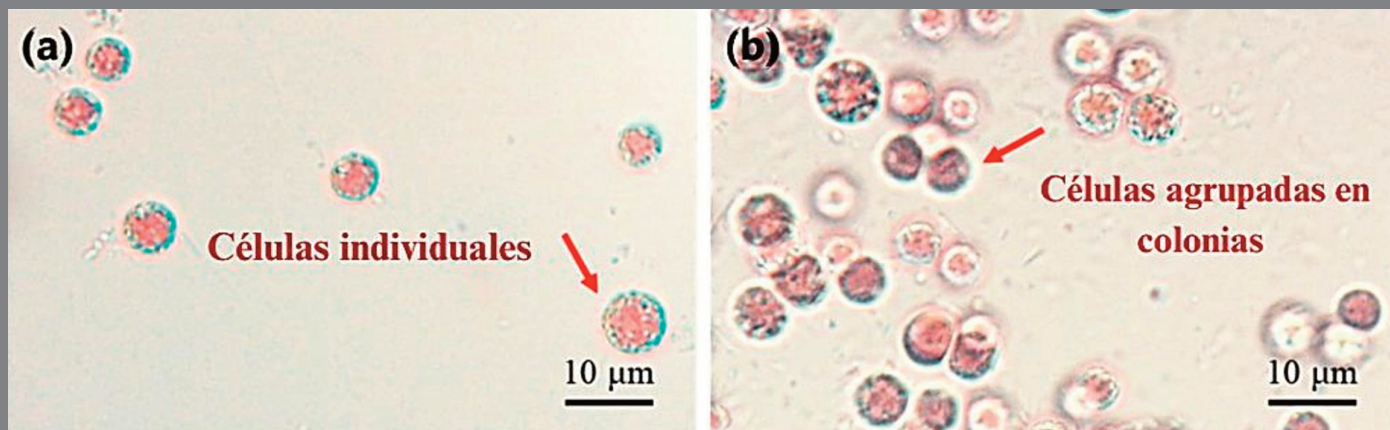


Figura 2. La figura muestra células de la microalga roja *P. cruentum* a una escala de 10 µm (a). Esta especie se caracteriza por su morfología esférica y por estar rodeada de una matriz extracelular polisacáridica. En la imagen se distinguen tanto células aisladas como agrupadas, lo cual es común en este género (b). (Tomado y modificado de <https://doi.org/10.3390/foods11142069>)

madre, capaces de germinar y formar una nueva célula independiente (Borowitzka, 2018). Con apenas 10 µm de diámetro (Servel *et al.*, 1994), esta microalga ha despertado el interés científico debido a la capacidad para adaptarse a distintos ambientes (Figura 2): puede vivir tanto en ambientes marinos como en suelos húmedos con alta salinidad.

A diferencia de otras algas, sus células carecen de pared celular, y presentan una membrana rodeada por una matriz gelatinosa llamada “cápsula”, hecha de polisacáridos sulfatados. Esta cápsula tiene funciones importantes para la microalga, no solo cumple una función estructural, sino que también actúa como una barrera antioxidante natural, facilitando la adherencia a superficies y mejorando la captación de nutrientes (Frómata y Gómez, 2024).

Su metabolismo es autótrofo: utiliza la luz del sol como impulso vital, fijando el carbono presente en el dióxido de carbono (CO₂) y lo convierte en biomoléculas orgánicas por medio de la fotosíntesis. Esto es posible por la presencia de pigmentos como la ficoeritrina que absorben luz azul y verde para activar el proceso fotosintético, le acompañan la clorofila a y otros carotenoides, completando el sistema fotosintético (Montoya *et al.*, 2022). Mientras que, como bono extra, también protegen a la célula frente al estrés oxidativo.

Se ha comprobado en diversas investigaciones que *P. cruentum* crece eficientemente entre los 20 y 25 °C, en medios con pH de 8.3 a 9 y bajo condiciones de iluminación controladas

(Huang y Cheung, 2021). Estos parámetros, junto con un suministro adecuado de nitrógeno, fósforo y dióxido de carbono, permiten que esta microalga produzca metabolitos con aplicaciones en la salud humana, la industria cosmética y ambiental.

El poder antioxidante de *P. cruentum*

En el interior de nuestras células ocurren constantemente reacciones químicas necesarias para mantener la vida. Sin embargo, muchas de estas reacciones producen moléculas inestables conocidas como radicales libres. Los radicales libres son átomos o moléculas que poseen uno o más electrones no apareados, lo que los vuelve altamente inestables y propensos a reaccionar con otras moléculas. Una vez que el radical libre ha conseguido sustraer el electrón que necesita, la molécula estable que se lo cede se convierte a su vez en un radical libre por quedar con un electrón desapareado, iniciando así una verdadera reacción en cadena que destruye células (Avello y Suwalsky, 2006). Aunque forman parte natural del metabolismo celular tanto en organismos animales como vegetales, su acumulación descontrolada se ha vinculado con procesos como el envejecimiento, inflamación crónica y el desarrollo de diversas enfermedades.

Para protegerse del daño oxidativo, los organismos cuentan con sistemas naturales que bloquean la acción de los radicales libres antes de que provoquen consecuencias más graves. Estos sistemas, conocidos como antioxidantes, funcionan mediante procesos celulares que disminuyen la reactividad de estas

moléculas inestables o previenen su formación, ayudando así a mantener el equilibrio celular. Entre las fuentes emergentes de antioxidantes naturales, las microalgas han captado atención por su capacidad de sintetizar compuestos bioactivos con alto potencial protector. Su entorno marino las somete a condiciones de radiación intensa, salinidad variable y estrés oxidativo constante, lo que ha impulsado la evolución de mecanismos de defensa con gran efectividad.

P. cruentum es la microalga que no solo destaca por su adaptabilidad ecológica, sino también por su habilidad de sintetizar moléculas que ofrecen doble función protectora, tanto en el interior celular como en su entorno inmediato. Estos compuestos actúan como una armadura natural frente al estrés oxidativo, aportando un enfoque biotecnológico prometedor y sostenible.

¿Como se defiende *P. cruentum*?

Esta microalga roja cuenta con una defensa antioxidante de dos niveles:

En primera instancia, *P. cruentum* sintetiza pigmentos fotosintéticos como ficobiliproteínas (ficoeritrina) que actúan como antioxidantes intracelulares. Diversos estudios han demostrado que estas proteínas pueden neutralizar radicales libres de forma eficiente, se muestra de manera esquemática el proceso seguido para la obtención y evaluación de biomasa de *P. cruentum*. En primer lugar, se observa el crecimiento cinético de la microalga y la acumulación de biomasa rica en metabolitos de interés (Figura 3). Posteriormente, se realiza la extracción de compuestos mediante

ultrasonido asistido, técnica que consiste en la aplicación de ondas ultrasónicas que generan cavitación, lo cual rompe las paredes celulares y facilita la liberación de pigmentos y proteínas intracelulares como lo pueden ser la ficocianina, clorofila a, carotenoides, destacando la ficoeritrina.

Dentro de estas proteínas se encuentran las ficobiliproteínas, un grupo de proteínas hidrosolubles unidas a pigmentos ficobilinas, que actúan como antenas captadoras de luz en la fotosíntesis. Estas moléculas no solo poseen un intenso color rojo característico, sino que también presentan reconocidas propiedades antioxidantes y bioactivas.

Finalmente, en la figura 3 se ilustra las moléculas empleadas para la cuantificación de pigmentos y proteínas con actividad antioxidante, evaluada mediante métodos como el ensayo de inhibición del radical libre ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico (ABTS^{•+}), el ensayo de inhibición del radical libre 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH[•]) y el método poder reductor antioxidante del ion férrico (FRAP), contribuyendo a reducir el daño oxidativo en lípidos y otras estructuras celulares (Liberti *et al.*, 2022).

En segunda instancia, la microalga secreta polisacáridos sulfatados extracelulares (EPS), que forman una capa viscosa alrededor de la célula (Figura 3). Esta barrera actúa como escudo antioxidante externo, atrapando radicales libres antes de que alcancen la membrana celular. Estudios han demostrado que estos EPS también disminuyen el estrés oxidativo en ensayos celulares y pueden influir positivamente en funciones inmunológicas sin generar toxicidad (Decara *et al.*, 2021).

Conclusión. Explorar el potencial antioxidante de *P. cruentum* nos abre la puerta a soluciones naturales y eficientes frente al daño celular y el envejecimiento oxidativo. Esta microalga roja, más allá de su singular color y resistencia, es una fábrica biológica de compuestos de gran valor biotecnológico. Desde nuestro laboratorio, buscamos entender qué condiciones favorecen su crecimiento y optimizan la producción de estos metabolitos. Con cada curva de cultivo,

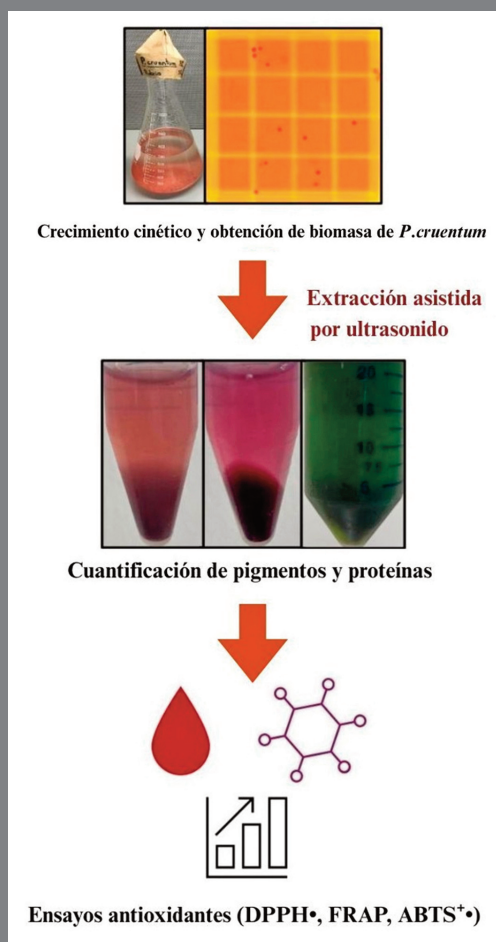


Figura 3. Esquema de la defensa antioxidante en *P. cruentum* basada en la acción intracelular de ficobiliproteínas y confirmada mediante los ensayos DPPH[•], FRAP y ABTS^{•+}, que evidencian su capacidad para neutralizar radicales libres. (Tomado y modificado de <https://doi.org/10.3390/metabo13030366>).

nos acercamos a diseñar estrategias más eficientes para escalar su aprovechamiento en fotobiorreactores, apostando por tecnologías limpias, sostenibles y con futuro.

Referencias

Abdala-Díaz, R. T., Pérez-Ruzafa, I. M., Cereza-Mezquita, P., & Mendiola-Pastrana, I. R. (2014). Evaluación de la actividad antioxidante de polisacáridos producidos por *Porphyridium cruentum*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 197–206. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>

Arias-Durán, M., García-Ruiz, E., & Rodríguez-Romero, J. (2018). El papel de las microalgas en la biorremediación y producción de compuestos bioactivos. *Revista Bio Ciencias*, 5(2), 103–116. <https://doi.org/10.21829/abm123.2018.1253>

Casas-Arrojo, V., Decara, J., Arrojo-Agudo, M. Á., Pérez-Manríquez, C., & Abdala-Díaz, R. T. (2021). Immunomodulatory, antioxidant activity

and cytotoxic effect of sulfated polysaccharides from *Porphyridium cruentum* (S.F. Gray) Nägeli. *Biomolecules*, 11(4), 488. <https://doi.org/10.3390/biom11040488>

López-Figueroa, F., & Rueda, A. (2006). Pigmentos fotosintéticos en microalgas: aspectos fisiológicos y metodológicos. *Estudios Oceanológicos*, 25, 81–94. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-04622006000200010>

López-Santín, J., Camacho, F. G., Cañizares, P., & Molina-Grima, E. (2021). Bioremediation of wastewater using microalgae: Challenges and future perspectives. *Science of the Total Environment*, 786, 147451. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147451>

Safar, H., Haigh, V., Shapaval, V., Koh, H. L., & Grebenshchikov, N. (2022). Lipid and carotenoid production by *Porphyridium cruentum* under different light intensities. *Algal Research*, 64, 102705. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102705>

Su, Y., Yu, C., Li, Y., Chen, Y., Wang, Y., Lu, L., & Yuan, Z. (2023). Recovery and utilization of *Porphyridium cruentum* for integrated biorefinery: Lipid, protein, and exopolysaccharide valorization. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(3), 1205–1214. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c05869>

Tounsi, L., Allagui, M. S., Zourgui, L., & Gargouri-Bouid, R. (2024). Enhanced growth and metabolite production from a novel strain of *Porphyridium cruentum* cultivated in optimized media. *Marine Drugs*, 22(1), 38. <https://doi.org/10.1080/21655979.2023.2294160>

Velásquez Reyes, D. A., & Arévalo Díaz, A. D. (2014). Producción de microalgas en biorreactores para la obtención de antioxidantes naturales. *Proceedings of the 2014 LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (Paper RP278)*. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions.

Vonshak, A., & Richmond, A. (1988). Mass production of the red alga *Porphyridium purpureum*: Physiological principles. *Hydrobiology*, 160(1), 127–132. <https://doi.org/10.1007/BF01742320>

Peña-Medina, R. L., Fimbres-Olivarria, D., Enríquez-Ocaña, L. F., Martínez-Córdova, L. R., Del-Toro-Sánchez, C. L., López-Elías, J. A., & González-Vega, R. I. (2023). Erythroprotective Potential of Phycobiliproteins Extracted from *Porphyridium cruentum*. *Metabolites*, 13(3), 366. <https://doi.org/10.3390/metabo13030366>

Li, C., Wu, H., Xiang, W., Wu, H., Wang, N., Wu, J., & Li, T. (2022). Morphology of *P. cruentum* CCLA-415. Comparison of production and fluorescence characteristics of phycoerythrin from three strains of *Porphyridium*. *Foods*, 11(14) <https://doi.org/10.3390/foods11142069>

iStock. Microalgas iStock. <https://www.istockphoto.com/es/fotos/microalgas>