

LOS COLORES DE LAS MICROALGAS

ARMANDO GONZÁLEZ-SÁNCHEZ Y AITOR AIZPURU

Las microalgas y sus usos

Las microalgas son organismos unicelulares fotosintéticos que crecen en agua dulce o salada, predecesores de las plantas terrestres. Evolutivamente, las cianobacterias (cianófitas) fueron las primeras microalgas en aparecer. Son menos complejas que las demás microalgas y no contienen membranas que separan las estructuras específicas dentro de la célula. Por lo contrario, las microalgas eucariotas, más evolucionadas, tienen su material genético claramente separado del resto de la célula formando un organelo específico (núcleo).

Comparado con organismos fotosintéticos más evolucionados, como las plantas terrestres, las microalgas presentan gran eficiencia de conversión de la energía solar. Tienen mayores tasas de crecimiento, con capacidades de fijar CO₂ hasta 50 veces mayores (Cruz-García *et al.*, 2022). Además, el cultivo microalgal puede ser ventajoso frente al de las plantas, dado que no requiere de tierra cultivable, ni del uso de pesticidas y que también puede realizarse con aportes de bajo costo como agua no potable y efluentes gaseosos o aire ambiente (Levasseur *et al.*, 2020; Velasco *et al.*, 2023).

Por todas estas razones, el cultivo microalgal es muy investigado y algunos usos comerciales ya se están llevando a cabo. El principal producto comercial derivado de las microalgas es la biomasa completa (Figura 1). Esta ha sido históricamente usada desde la época precolombina, cuando los Aztecas consumían el tecuitlatl (Arthrospira) del lago de Texcoco (Alva *et al.*, 2023). Las microalgas siguen siendo una opción alimentaria saludable, además de ser usadas como fertilizante natural de los suelos. Sin embargo, un mercado más específico está desarrollándose, basado en la extracción de productos derivados de la biomasa microalgal. Entre estos derivados destacan los principales macronutrientes de las microalgas (carbohidratos, proteínas y lípidos). La utilización de lípidos y carbohidratos microalgales ha sido ampliamente investigada para la producción de bioenergía, con la generación de biodiésel o bioetanol. Sin embargo, el costo no competitivo aún impide una aplicación comercial (Velasco *et al.*, 2023). Por lo contrario, el mercado de proteínas microalgales está creciendo y ha resultado rentable para fines nutracéuticos. De manera aún más destacada, algunos productos microalgales tienen hoy en día un muy alto valor agregado, como los conocidos ácidos grasos Omega 3 y los pigmentos naturales que tienen diferentes aplicaciones nutracéuticas, farmacéuticas y cosméticas (Levasseur *et al.*, 2020).

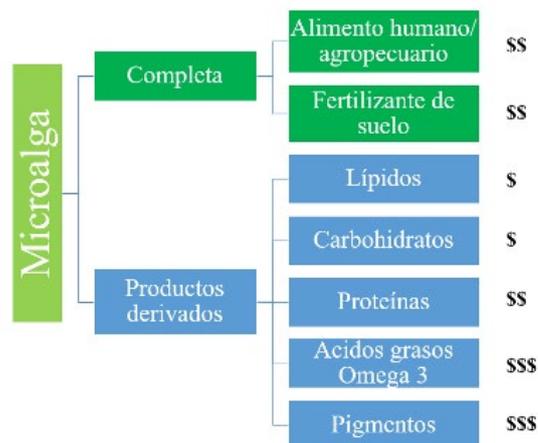


Figura 1. Principales productos obtenidos con microalgas. Valor actual: no rentable (\$); rentable (\$\$); alto valor agregado (\$\$\$)

Los pigmentos de las microalgas

Los pigmentos están constituidos por grupos químicos capaces de absorber parte del espectro de la luz visible, llamados cromóforos. Estos cromóforos tienen una serie de enlaces químicos carbono-carbono, alternando enlaces simples y dobles. La absorción de una porción de la luz visible es responsable del color de los pigmentos que sólo reflejan la radiación no retenida, apareciendo con el color complementario.

Entre las microalgas eucariotas, se pueden diferenciar tres grupos en base a su color, las microalgas verdes (clorófitas), las rojas (rodófitas) y las de color pardo o marrón (heterocontófitas) (Alva *et al.*, 2023). Como su nombre indica, las primeras microalgas desprovistas de núcleo (cianófitas) tienen un color ciano (azul). Los colores observados de las microalgas se deben a su contenido de diversos pigmentos. Varios pigmentos son esenciales para la fotosíntesis para captar la luz solar y convertirla en energía química, permitiendo la fijación de CO₂ y la síntesis de nuevo material celular. Otros pigmentos no fotosintéticos tienen un rol protector, son producidos en condiciones de estrés o para captar el exceso de energía solar, evitando daños oxidativos a las células. Existen cuatro tipos de pigmentos en las microalgas (Figura 2).

El primer grupo de pigmentos de color verde, son las clorofilas, que se encuentran en todos los organismos fotosintéticos. La principal, la clorofila a (Cl-a), también llamada pigmento fotosintético primario, realiza la última conversión de la energía solar en energía química. Otras clorofilas (b y c) son pigmentos fotosintéticos auxiliares, que permiten captar un rango más amplio de luz visible, pasando la energía a la Cl-a.

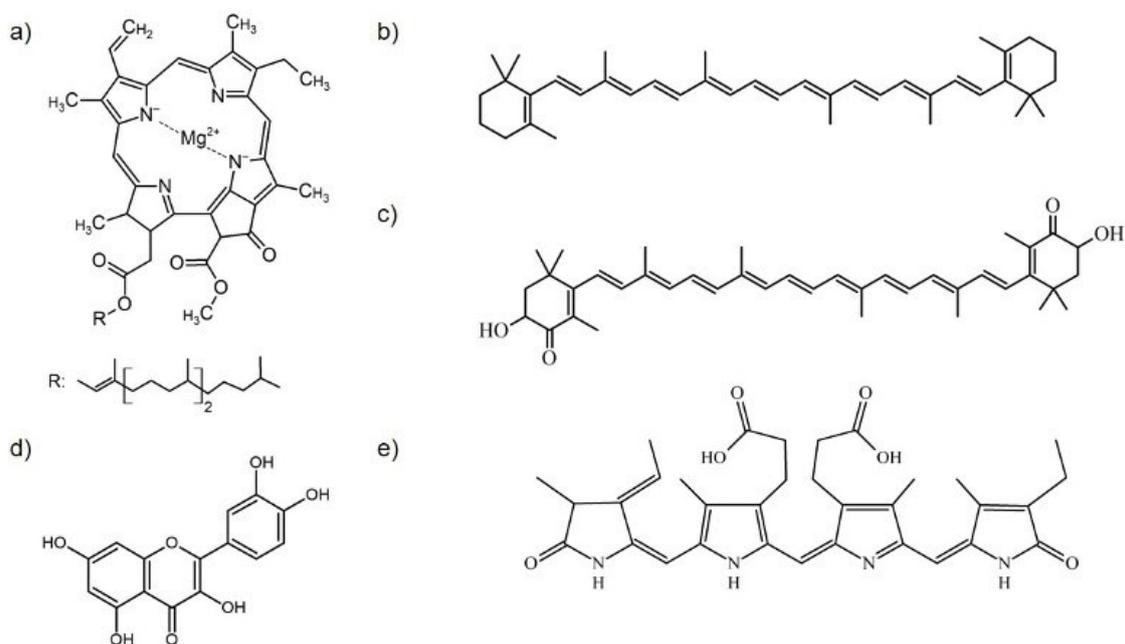


Figura 2. Ejemplos de estructuras químicas de los pigmentos o cromóforos de las microalgas. a) clorofila a (verde); b) β -caroteno (anaranjado) c) astaxantina (rojo); d) quercetina (amarillo); e) ficocianobilina (azul)

El segundo grupo de pigmentos, los carotenoides, incluye compuestos que sólo contienen carbono e hidrógeno (los carotenos) y compuestos que también contienen oxígeno (las xantófilas). Las algas rojas deben su color a un alto contenido de carotenos (rojos o anaranjados). Las algas pardas deben su color a un alto contenido de una xantófila de color marrón (como la fucoxantina). Los carotenoides pueden actuar como pigmentos fotosintéticos auxiliares, así como compuestos que previenen el daño oxidativo bajo condiciones de estrés celular.

El tercer grupo de pigmentos, las ficobiliproteínas, está constituido por cromóforos llamados ficobilinas atados a proteínas constitutivas. Estas ficobiliproteínas son de color azulado, y tienen un rol fotosintético auxiliar para las cianobacterias. La más comercializada de las ficobiliproteínas es la ficocianina, está compuesta por tres unidades de ficocianobilina.

El último grupo de pigmentos, los flavonoides (de color amarillento), se suele encontrar en las plantas terrestres, pero ha sido recientemente identificado en varios tipos de microalgas. El flavonoide más comúnmente encontrado es la quercetina. Se piensa que tienen una función no fotosintética de protección contra el estrés celular.

Entre los pigmentos microalgales más comercializados destacan dos carotenoides, el β -caroteno y la astaxantina, así como una ficobiliproteína, la ficocianina. El β -caroteno es esencial en nuestra dieta diaria, siendo precursor de la vitamina A. Favorece la buena salud de la piel y del sistema inmunitario. Se utiliza como colorante alimentario, y por

sus propiedades antioxidantes, en preparaciones tanto farmacéuticas como cosméticas. La astaxantina, que es el antioxidante natural más potente conocido, se usa como aditivo alimenticio, y en la dieta agropecuaria, en particular para dar un color más vivo a los salmones y al amarillo de huevo. También, se utiliza en cosmética para dar un color vivo a los lápices labiales; o por sus virtudes antioxidantes, como ingrediente activo en cremas de protección solar. La ficocianina de origen microalgal es hoy en día el pigmento natural más utilizado para dar un color azul en la repostería, confitería y glaseados. Es ampliamente usada en la cosmética para cremas anti-envejecimiento y anti-manchas de la piel.

Cómo incrementar la producción de pigmentos en el cultivo microalgal

Hay dos maneras de aumentar la producción de pigmentos: incrementando la cantidad total de microalga producida, o el contenido de pigmentos en estas microalgas.

Varias propuestas son estudiadas para fomentar la producción de biomasa microalgal. Recientemente, una investigación llevada a cabo en la Universidad del Mar, en el estado de Oaxaca, ha permitido observar que el uso de aire enriquecido en CO_2 , que emane de la degradación de contaminantes orgánicos presentes en el aire, mejora la producción total de microalga (*Arthrospira máxima*), obteniendo hasta 117 % mayor productividad que con aire atmosférico (Cruz-García



Figura 3. Izquierda: Fotobiorreactor para cultivo de microalgas. Derecha: pigmentos extraídos de las microalgas cosechadas

et al., 2022). Así, resulta provechoso combinar procesos de tratamiento de contaminantes orgánicos que generen CO_2 con el cultivo microalgal, obteniendo a la vez beneficios ambientales y económicos.

En cuanto a fomentar mayor contenido de pigmentos, se tienen estrategias diferentes para los pigmentos fotosintéticos y los no fotosintéticos, estos últimos requiriendo condiciones de estrés para su producción (mayor intensidad de luz, incremento de salinidad o limitaciones de nutrientes) (Aizpuru *et al.*, 2024).

Cabe notar que, recientemente, una investigación del Instituto de Ingeniería de la UNAM demostró que se puede inducir un fuerte cambio en el contenido de pigmentos de la biomasa microalgal ya cultivada, con tan sólo 90 min de exposición final a condiciones específicas. Por ejemplo, se pudo incrementar el contenido de ficocianina en 50 %, tras una corta exposición a una intensidad de luz 60 % menor a la referencia utilizada para el crecimiento microalgal (Velasco *et al.*, 2023). La figura 3 muestra un ensayo de cultivo microalgal y de extracción de pigmentos llevado a cabo en la UNAM.

Las investigaciones presentes y futuras permitirán alcanzar mayor desarrollo de las tecnologías microalgales.

Las microalgas tienen un alto potencial para la producción de pigmentos de alto valor agregado y pueden ser excelentes mitigadoras del efecto invernadero por su fijación del CO_2 .

Referencias

- Aizpuru, A. y González-Sánchez, A. (2024). Traditional and new trend strategies to enhance pigment contents in microalgae. *World J Microbiol Biotechnol*, 40(9), 1-26.
- Alva, A. P.; Rodríguez, M. M. R. y Allende, D. K. B. (2023). ¿Algas en mi comida? ¿Es en serio? *Revista Digital Universitaria*, 24(4).
- Cruz-García, B. y Aizpuru, A. (2022). Proof of concept of a novel in tandem biofilter photobioreactor system for valorization of volatile organic compounds: mineralization of methanol vapors coupled with use of CO_2 as a carbon source for *Arthrospira maxima* growth. *J Chem Technol Biotechnol*, 97(6), 1390-1399.
- Levasseur, W.; Perré, P. y Pozzobon, V. (2020). A review of high value-added molecules production by microalgae in light of the classification. *Biotechnol Adv*, 41, 107545.
- Velasco, A.; Murillo-Martínez, M. M.; Granada-Moreno, C. I.; Aizpuru, A.; Viguera-Ramírez, G. y González-Sánchez, A. (2023). Short-term tuning of microalgal composition by exposition to different irradiance and small doses of sulfide. *Appl Biochem Biotechnol*, 195(7), 4321-4335.