

LAS MICROALGAS: LA ESPERANZA PARA LA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES VERDES

JOSÉ LUIS ALEMÁN RAMÍREZ, AYLIN BRITO CASTILLO, MARTÍN BARRAGÁN-TRINIDAD Y JOSEPH SEBASTIÁN PATHIYAMATTOM

El Dr. José Luis Alemán Ramírez es Ingeniero en Energías Renovables por la Universidad Politécnica del Estado de Guerrero y maestro en Energías Renovables por la Universidad Politécnica de Chiapas. Es Doctor en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Actualmente, es posdoctorante en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. Correo: alemanluis20@outlook.com.mx

Aylin Brito Castillo es estudiante de Ingeniería Química en el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Realiza su trabajo de tesis "Nanopartículas de Fe₃O₄ incorporadas al cultivo de microalgas" bajo la tutela del Dr. Joseph Sebastián Pathiyamattom.

El Dr. Martín Barragán-Trinidad es Ingeniero Bioquímico por el IPN, Maestro en Ciencias y Doctor en Ingeniería Ambiental por la UNAM. Actualmente es posdoctorante en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM y es miembro del SNII, nivel 1. Sus líneas de investigación se centran en el tratamiento de aguas residuales, biotecnología de microalgas, producción de biocombustibles gaseosos y ecología microbiana.

El Dr. Joseph Sebastián Pathiyamattom es Investigador Titular C del Instituto de Energías Renovables -UNAM y SNII 3. Sus líneas de investigación son: hidrógeno, celdas de combustibles, biocombustibles y nanomateriales. Actualmente desarrolla proyectos relacionados a fotoreducción de CO₂, producción de hidrógeno verde, producción de diésel verde, producción de bioetanol, biodiesel y biogás, cultivo de microalgas y desarrollo de nanomateriales a partir de biomasa. Correo: sjp@ier.unam.mx

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Introducción

Hoy en día, la mayoría de nosotros hemos visto cómo cambia la coloración del agua de transparente a un color verde claro/oscuro en los estanques, piscinas, baldes, o en cualquier otro sitio donde se encuentre almacenada. Estos cambios también pueden ser observados en el mar; a la orilla de las costas pueden aparecer grandes montículos de color café, que con el tiempo se tornan de un color café oscuro, hasta alcanzar una coloración negra. Estos cambios de coloración son ocasionados por el crecimiento de organismos llamadas algas.

Pero... ¿Qué son las algas?

Las algas son organismos fotosintéticos que crecen en ambientes acuáticos, esto quiere decir que necesitan la presencia

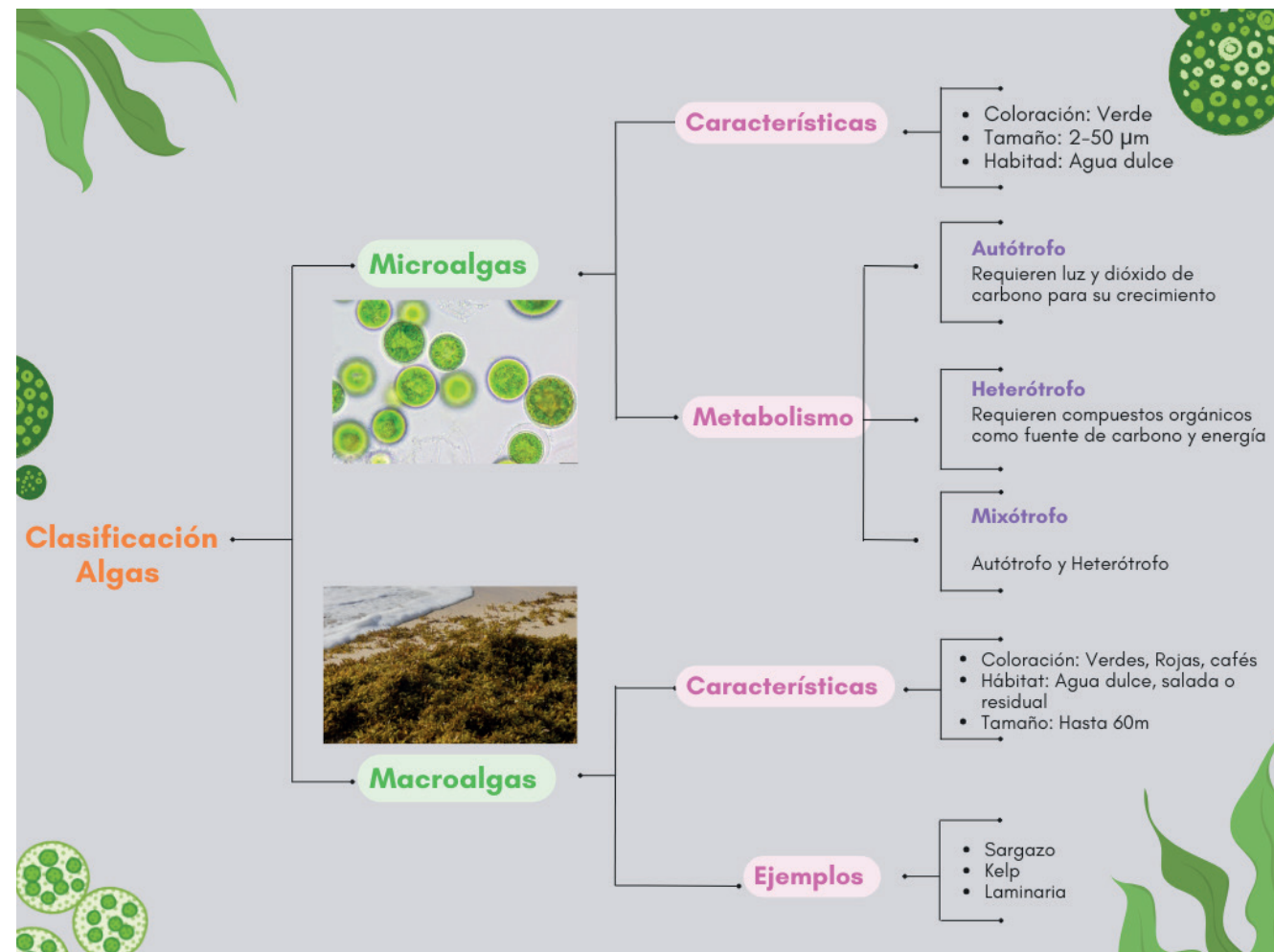


FIGURA 1. CLASIFICACIÓN y características de las algas. (Figura editada en Canva por los autores).

de luz y dióxido de carbono (CO₂) para su crecimiento. De acuerdo con su tamaño, estos organismos se clasifican en dos grandes grupos: las macroalgas y las microalgas (Figura 1).

Por el momento nos concentraremos un poco más en las microalgas y para esto comenzaremos por definir qué son. La definición de microalga comúnmente incluye todos los microorganismos fotosintéticos unicelulares y pluricelulares simples, tanto microalgas procariontas como eucariotas. Las microalgas para la producción de biocombustibles gaseosos o líquidos, tales como el biohidrógeno, biogás, bioetanol y el biodiésel. Estos servirían como sustitutos de los combustibles fósiles actuales procedentes del refinado del petróleo, causantes de emisiones contaminantes y del calentamiento global del planeta. Con el desarrollo y producción de estos combustibles alternativos, es posible disminuir la dependencia que se tiene actualmente hacia los combustibles fósiles, logrando con

Aplicaciones

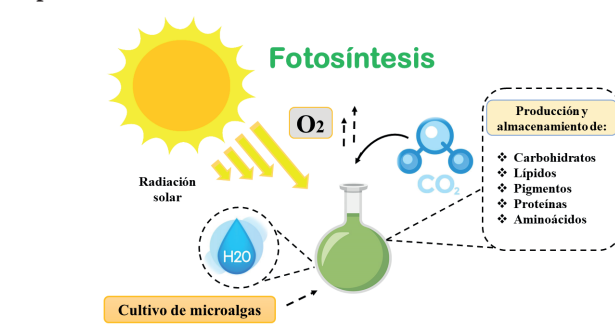


FIGURA 2. ESQUEMA del proceso de fotosíntesis de las microalgas y sus diversos compuestos bioactivos. (Figura editada en Power Point por los autores).

Diferentes áreas han decidido aprovechar la biomasa microalgal que se produce para llevar a cabo la elaboración y producción de diferentes productos de alto valor agregado, por ejemplo; la industria de los alimentos y la farmacéutica han empleado la biomasa de estos microorganismos para el desarrollo de suplementos alimenticios y para la terapia biomédica.

La bioenergía, ha decidido utilizar los carbohidratos y lípidos presentes en la estructura de las microalgas para la producción de biocombustibles gaseosos o líquidos, tales como el biohidrógeno, biogás, bioetanol y el biodiésel. Estos servirían como sustitutos de los combustibles fósiles actuales procedentes del refinado del petróleo, causantes de emisiones contaminantes y del calentamiento global del planeta. Con el desarrollo y producción de estos combustibles alternativos, es posible disminuir la dependencia que se tiene actualmente hacia los combustibles fósiles, logrando con

ello, la reducción de estos gases de efecto invernadero como son el dióxido de carbono (CO₂), óxido nítrico (N₂O), metano (CH₄) y el ozono (O₃), consiguiendo así, el avance progresivo en la reducción de estos gases hacia la atmósfera, a este proceso también se le conoce como descarbonización del planeta tierra.

Crecimiento de las microalgas

Las microalgas dependen de un suministro continuo de carbono y fuente de luz para llevar a cabo la fotosíntesis. No obstante, es necesario controlar la influencia de los factores ambientales sobre el crecimiento de las microalgas para obtener una biomasa adecuada para fines energéticos. En este sentido, es necesario el cultivo de microalgas en fotoreactores que permitan manipular los factores ambientales y permitan obtener microalgas con las características deseadas.

Actualmente, existen varios tipos de reactores que se utilizan para llevar a cabo el crecimiento de microalgas con fines bioenergéticos, es decir, aquellas especies de microalgas con capacidad de acumular un alto contenido de carbohidratos o lípidos. Los reactores pueden ser clasificados en dos grupos, como son los sistemas abiertos y cerrados. De los diversos tipos y diseños de reactores existentes, los de mayor empleo a nivel laboratorio, planta piloto e industrial son los biorreactores de placas planas, los tubulares y los tipo "raceway", debido a que favorecen la captación de la luz, necesaria para el proceso de la fotosíntesis

Nombre	Área de interés	Aportaciones
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	Acuicultura	Alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados
<i>Arthrospira</i>	Industria farmacéutica y alimentaria	Proporciona una alta concentración de proteínas de alta calidad
<ul style="list-style-type: none"> <i>Nannochloropsis G.</i> <i>Neochloris O.</i> <i>Chorella V.</i> <i>Scenedesmus</i> 	Interés bioenergético	Gran cantidad de lípidos que pueden acumular en su estructura, rápido crecimiento y a la fácil forma de ser cultivadas.

FIGURA 3. APLICACIONES de las microalgas para la producción de combustibles verdes

mejorando e incrementando el crecimiento de las microalgas, con las características deseadas para la producción de biocombustibles. Sin embargo, es necesario contar con una fuente de carbono y nutrientes disponible y de bajo costo, como son las aguas residuales, lo cual además permitiría contribuir al tratamiento y reúso de este recurso. Aunado a esto, el cultivo de microalgas es independiente de la estacionalidad y de la fertilidad del suelo, características inherentes a los biocombustibles de segunda generación.

Microalgas de interés industrial y bioenergéticos

En la actualidad, existen algunas especies de microalgas que tienen un mayor interés por parte de la comunidad científica e industrial para fines comerciales específicos que otras (Figura 3), esto se debe principalmente a los múltiples biocompuestos que estos microorganismos son capaces de llegar a producir. En el caso de la bioenergía, esta área ha centrado sus investigaciones en aquellas especies de microalgas que presenten un crecimiento rápido, que sean fáciles de cultivar y cosechar y que producen una cantidad elevada de carbohidratos y lípidos (preferentemente poliinsaturados), es decir polímeros de glucosa y aceites en su interior celular, con el objetivo de ser extraídos y aprovechados para la producción de biocombustibles en procesos complementarios. Por ejemplo, el bioetanol se puede producir fermentando la glucosa contenida en los carbohidratos, los aceites, mediante catálisis química, se pueden convertir eficientemente en biodiesel, y la biomasa completa de microalgas se puede usar en procesos de digestión anaerobia para generar biogás. (Figura 4).

La producción de bioetanol a partir de microalgas implica un pretratamiento de la biomasa, seguido de la sacarificación (la cual puede ser química o biológica) para obtener los azúcares fermentables. Estos azúcares son convertidos a bioetanol por fermentación, empleando levaduras (*Saccharomyces cerevisiae* o *Pichia stipitis*) o bacterias (*Zymomonas mobilis*, *Kluyveromyces fragilis*, *Kluyveromyces marxianus*, entre otras). El fermentado, posteriormente se destila y se deshidrata para obtener bioetanol anhidro. Si bien, el contenido de carbohidratos en las microalgas puede representar hasta el 50% del peso seco, una limitante de este proceso, es que las levaduras (que son las utilizadas en el proceso de fermentación) son incapaces de fermentar pentosas, las cuales están contenidas en la hemicelulosa, el cual puede representar hasta más del 50% del total de los carbohidratos presentes en la microalga [2]. Por otro lado, para la producción de biodiesel a partir de biomasa algal primeramente se debe realizar la extracción de los lípidos, los métodos más empleados son la extracción con solventes, con enzimas o la extracción isotónica. Posteriormente, se realiza la transesterificación, para convertir los triglicéridos en metilésteres (biodiesel), empleando un alco-

hol de cadena corta (metanol o etanol) y un catalizador ácido, básico o enzimático. Por último, los metilésteres deben ser purificados. Uno de los principales desafíos de este proceso, es el secado de la biomasa, previo a la extracción de los lípidos, se ha reportado que esta etapa representa hasta el 30% del costo total; por lo que, es necesario emplear estrategias de secado de bajo costo. Un proceso de digestión anaerobia se emplea para llevar a cabo la producción de biogás a partir de biomasa de microalgas. La digestión anaeróbica es un proceso biológico en ausencia de oxígeno donde intervienen diferentes poblaciones de microorganismos para degradar la materia orgánica. A partir de la biomasa de microalgas se produce una reacción de oxidación donde la materia orgánica se digiere para transformarse en metano, dióxido de carbono y amoníaco. Como producto se obtiene un residuo orgánico estabilizado y biogás, compuesto aproximadamente por 60-75 % de metano y 25-40 % de dióxido de carbono [3]. La biomasa que suele utilizarse en este proceso por lo general proviene de un segundo proceso de extracción de aceite, el cual fue utilizado para llevar a cabo la producción de biodiésel. También, la biomasa de las microalgas está siendo explorada como biofertilizante para mejorar la composición de suelos y favorecer el crecimiento de algunas plantas de interés nutricional.

Microalgas y nanopartículas

Recientemente, se están llevando a cabo diversas investigaciones para mejorar la producción de las microalgas, con el fin de incrementar la cantidad de células generadas en los fotobiorreactores, y llevar a cabo una fácil recolección (cosecha) de las microalgas conteniendo cantidades elevadas de aceites o carbohidratos, para ser aprovechados en la producción de biocombustibles. Esto a través

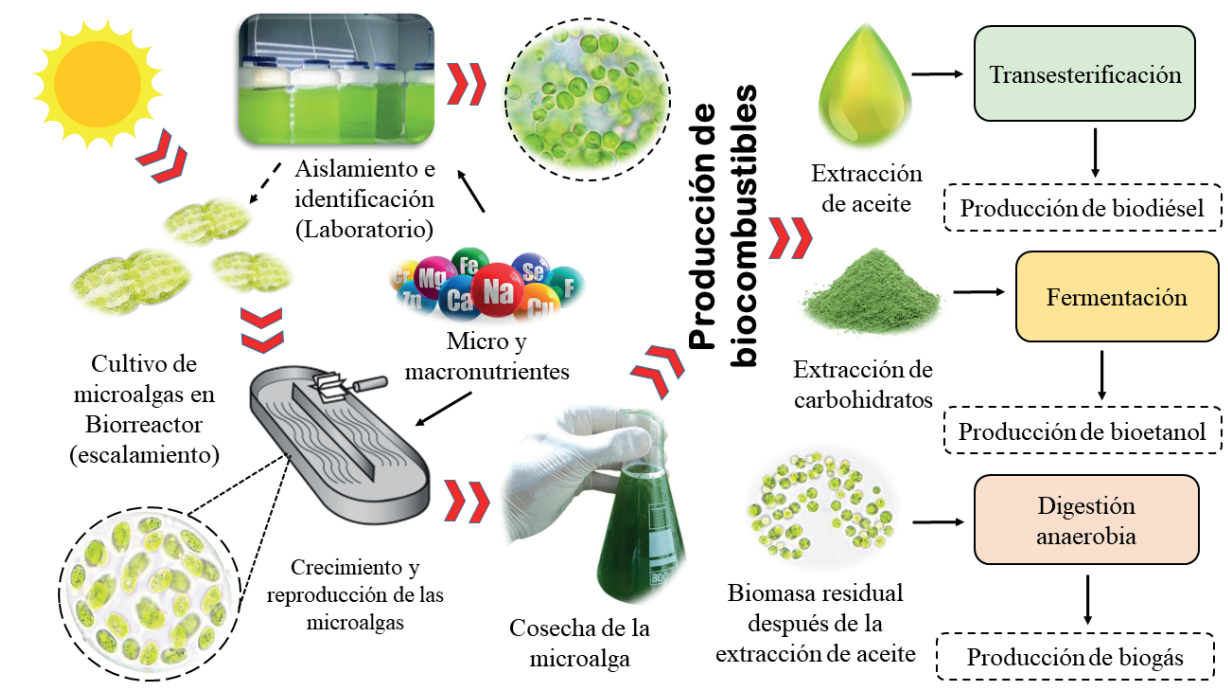


FIGURA 4. DIAGRAMA simplificado de la aplicación de las microalgas en la producción de combustibles alternativos. (Figura editada en Power Point por los autores).

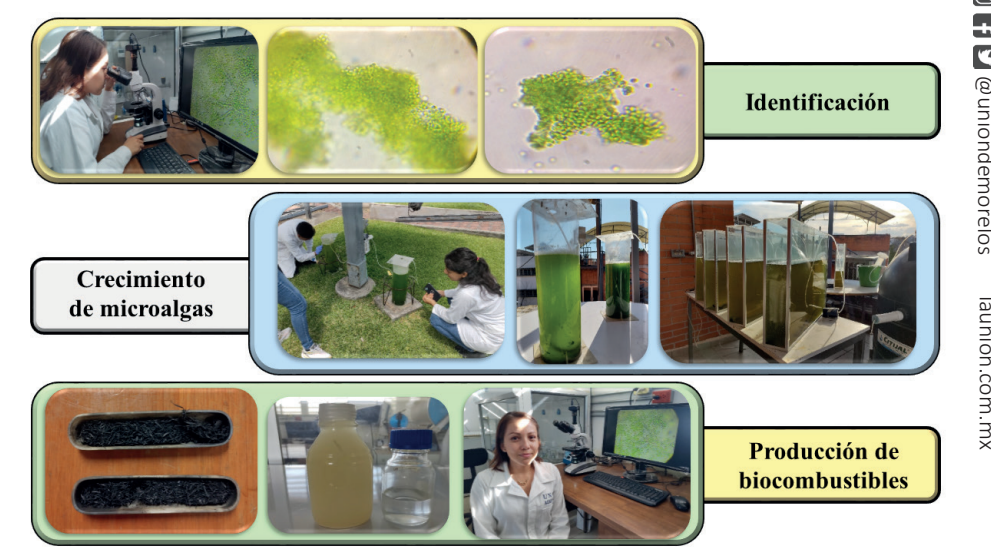


FIGURA 5. IDENTIFICACIÓN, crecimiento y producción de biocombustibles a partir de microalgas en el Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM), Temixco, Morelos. (Figura editada en PowerPoint por los autores).

de la adición de diferentes nanopartículas, las cuales pueden ser sintetizadas por métodos amigables con el medio ambiente y de bajo costo, como es la síntesis verde. Se ha observado que, con la adición de las nanopartículas en el medio de cultivo, también se puede mejorar la absorción del CO₂ atmosférico e incrementar la conversión de luz para incrementar la cantidad de microalgas.

En el Laboratorio de Bioenergía del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (IER-UNAM), ubicado en el municipio de Temixco, Morelos (Figura 5), estamos realizando diversos trabajos de investigación con microalgas. Nuestro objetivo principal es el de mejorar y optimizar el crecimiento de éstas en diferentes biorreactores bajo condiciones controladas (laboratorio) y ambientales. Además, se está llevando a cabo la identificación (desde un punto de vista morfológico y por técnicas de biología molecular) de diversas especies de microalgas aisladas de diferentes municipios del estado de Morelos, con la idea de evaluarlas en la producción de biodiésel, bioetanol, biohidrógeno y metano. También, se están desarrollando y caracterizando diversas nanopartículas metálicas sintetizadas a través de la síntesis verde, utilizando diversos residuos agrícolas y agroindustriales, con el objetivo principal de que sean utilizadas durante el crecimiento de las microalgas para incrementar su concentración de lípidos y de carbohidratos para llevar a cabo la producción de diversos combustibles alternativos.

Agradecimientos

Alemán-Ramírez agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnolo-

gías (CONAHCYT) por la beca otorgada de posdoctorado (715276). Aylin Brito-Castillo agradece al Instituto de Energías Renovables por las facilidades otorgadas para llevar a cabo su residencia profesional. Martín Barragán-Trinidad agradece a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico - UNAM, México, por el apoyo de la beca de posdoctorado.

Referencias

- [1] T. M. Mata, A. A. Martins, y Nidia S. Caetano, «Microalgae for biodiesel production and other applications: A review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, n.º 1, pp. 217-232, ene. 2010, doi: 10.1016/j.rser.2009.07.020.
- [2] Megawati *et al.*, «Bioethanol production from glucose obtained from enzymatic hydrolysis of *Chlorella microalgae*», *Materials Today: Proceedings*, vol. 63, pp. S373-S378, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.551.
- [3] A. Hernández-Pérez y J. I. Labbé, «Microalgas, cultivo y beneficios», *Rev. biol. mar. oceanogr.*, vol. 49, n.º 2, pp. 157-173, ago. 2014, doi: 10.4067/S0718-19572014000200001.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convalidados del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: <https://acmor.org/>
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: coord.comite.editorial.acmor@gmail.com

