

Microalgas, un cultivo promisorio para la producción de biodiésel

Valeria Bravo*, Gerónimo J. Cárdenas** y Guillermo De Boeck***

Situación actual

El alto costo del petróleo, su tendencia en alza y la disminución de las reservas han afectado la seguridad energética mundial, por lo que se estima que, a mediano plazo, ya no será posible cubrir una demanda que crece permanentemente. A esto se agrega la contaminación ambiental y el consecuente calentamiento global, fenómeno provocado, en gran medida, por los gases producidos en la quema de los combustibles fósiles. Es por ello que se están estudiando a nivel mundial, la implementación y el desarrollo de fuentes de energía renovable y eco-alternativas energéticas.

Una alternativa ambiental y económicamente factible para la sustitución de combustibles de origen fósil es la producción de biocombustibles a partir de microalgas. Se denomina este tipo de producción como de tercera generación.

El cultivo de algas no requiere grandes extensiones de terreno, ni compite con otros cultivos alimenticios. La principal característica de estos microorganismos es que captan dióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO₂), contribuyendo a la absorción de este gas, principal constituyente del conjunto de gases de efecto invernadero (GEI).

Debe considerarse que en nuestra región, se produce CO₂ en la actividad agroindustrial más importante: la industria sucro-alcoholera. Se genera este gas tanto en la combustión del bagazo en las calderas, como en la fermentación alcohólica, por lo que el proceso de industrialización de la caña de azúcar puede convertirse en una potencial fuente del CO₂ necesario para el cultivo de microalgas.

Las microalgas tienen la capacidad de acumular lípidos o ácidos grasos que pueden utilizarse como materia prima para la producción de biodiésel. Esta situación hace pensar que la producción de estas es una interesante opción a considerar, ya que se cuenta además con residuos líquidos que podrían emplearse como sustrato, siendo ejemplo de esto los efluentes cloacales y la vinaza.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la factibilidad de utilizar corrientes efluentes de la cadena productiva azucarera como materia prima en cultivos de microalgas productoras de ácidos grasos aptos para la elaboración de biodiésel.

Aplicaciones de las microalgas

Las microalgas forman la base de la cadena alimenticia para más del 70% de la biomasa mundial y se consideran maquinarias fotosintéticas generadoras de pigmentos, con una adaptación ecofisiológica y plasticidad bioquímica únicas. Esto les permite la bioconversión directa de la energía solar en compuestos químicos, bajo una variedad de condiciones medioambientales y a una velocidad mayor que cualquier otra fuente vegetal (Paniagua-Michel, 1994).

En la naturaleza, las microalgas son productoras primarias en los ambientes acuáticos. Se han estudiado estos microorganismos fotosintéticos para fines de alimentación humana y animal, agronómicos, farmacéuticos, energéticos y de acuicultura (Mata *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista bioenergético, la biomasa de las microalgas ha demostrado ser una fuente rica en productos de alto valor energético, tales como el aceite microalgal, a partir del cual puede producirse biodiésel, el metano, obtenido por digestión anaeróbica de la biomasa, y el biohidrógeno, producido fotobiológicamente. Esta biomasa puede ser utilizada en forma directa para combustión, gasificación o pirólisis (Brennan and Owende, 2010).

Por otro lado, las microalgas se destacan como agentes biorremediadores en la absorción y adsorción de metales pesados y como biofertilizantes fijadores de nitrógeno (Kaplan, 2004).

Además, en virtud de su contenido de ácidos grasos saturados e insaturados de cadenas con 14 a 20 átomos de carbono, las microalgas presentan interesantes aplicaciones terapéuticas (Mata *et al.*, 2010).

Fuentes de materia prima para biodiésel

La producción de biodiésel a partir de oleaginosas requiere del uso de enormes extensiones de terreno fértil y de agua, situación que se convierte en un conflicto ante la escasez de suelos cultivables y recursos hídricos. Asimismo, esta actividad presenta otros inconvenientes, tales como los largos ciclos de producción de la agricultura, la falta de disponibilidad de variedades con alto potencial productivo y la dependencia de las condiciones climáticas, geográficas y edáficas.

*Ing. Ind., **Ing. Qco., Programa de Bioenergía, ***Ing. Qco., Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, EEAOC.

En cambio, las algas logran un aprovechamiento eficiente de luz y nutrientes, lo que se refleja en un crecimiento y productividad superiores a los de especies vegetales. En la Tabla 1, se muestran los rendimientos promedio de aceite por hectárea de diferentes cultivos. Puede apreciarse que las microalgas se presentan como una fuente de biodiésel con algunas ventajas frente a otros cultivos oleaginosos.

Tabla 1. Rendimientos promedio de aceite por hectárea de distintas materias primas para producción de biodiésel.

Cultivos	Rendimiento (l/ha)
Maíz	172
Soja	446
Colza	1.190
Jatropha	1.892
Coco	2.689
Palma	5.950
Microalga ¹	18.750
Microalga ²	23.500
Microalga ³	35.202
Microalga ⁴	70.405

¹ *Phaeodactylum Tricornutum*.

² *Nannochloropsis* sp.

³ Teórico 20% aceite.

⁴ Teórico 40% aceite.

Fuente: elaborado con datos de Chisti, 2007.

Las especies con alto contenido en lípidos son las de verdadero interés para la producción sostenible de biodiésel. Sin embargo, no es tarea fácil seleccionar especies de alta producción de aceite que, al mismo tiempo, no se contaminen fácilmente con especies indeseables.

No puede decirse que haya una especie de algas que sea mejor en lo que a obtención de biodiésel se refiere; sí puede afirmarse que las diatomeas y las algas verdes aparecen como las más prometedoras. En cualquier caso, deben seleccionarse las especies locales y tenerse siempre en cuenta el medio en el que se pretende cultivarlas.

Requerimientos culturales

Tanto la composición como la producción de ácidos grasos de los cultivos de microalgas son afectados por las condiciones físicas y químicas en las que se desarrollan (disponibilidad y clase de nutrientes, salinidad del medio, periodos e intensidad de luz, temperatura, pH, e incluso su asociación con otros microorganismos) (Hu, 2004). Su desarrollo y multiplicación están relacionados con la disponibilidad de macronutrientes o factores limitantes del crecimiento, que se requieren en cantidades relativamente grandes, y de micronutrientes que se necesitan en menor proporción (Tabla 2).

Tabla 2. Requerimientos nutritivos principales de los cultivos de microalgas.

Requerimientos nutritivos	Compuestos químicos
C	CO ₂ , CO ₃ ≈
O, H	O ₂ , H ₂ O
N	N ₂ , NH ₂ , NH ₄ , NO ₃ , NO
P	PO ₄ ≈ Sales inorgánicas
S	SO ₄ ≈ Sales inorgánicas
Na, K, Ca, Mg	Sales inorgánicas
Fe, Zn, Mn, B, Br, Si	Sales inorgánicas
Cu, Co, Cl, I, Sr, Rb, Al	Sales inorgánicas
Vitaminas	B12, tiamina, biotina

Fuente: elaborado con datos de Grobbelaar, 2004.

En nuestra región, se dispone de fuentes ricas en nutrientes necesarios para el cultivo de microalgas. Se pueden utilizar los residuos de su principal actividad agroindustrial, la sucro-alcoholera: el CO₂, generado en la fermentación alcohólica, y la vinaza, producto de la destilación posterior; ambos proveen casi la totalidad de los macro y micronutrientes necesarios. En la Tabla 3 se muestran valores de la composición química de la vinaza.

Diversos factores físicos contribuyen al desarrollo óptimo de los cultivos de microalgas; algunos de estos afectan las características y velocidad de su crecimiento. Estos requerimientos físicos se exponen, con sus valores aproximados, en la Tabla 4. En cada caso, habrá que estudiar las necesidades particulares de las algas que se vayan a cultivar y las condiciones necesarias para su desarrollo, por lo que estos datos son solo orientativos.

Para muchas especies de diatomeas, la temperatura óptima de crecimiento oscila entre 15°C y 20°C, mientras que las clorofíceas pueden soportar altas temperaturas. Un ejemplo de ello lo constituye la especie *Chlorella saccharophila*, cultivada masivamente a la intemperie bajo temperaturas que oscilan entre 12,5°C y 30°C (Torretera Blanco y Tacon, 1989).

El control de la temperatura será necesario o no, dependiendo del tipo de microalga que se desee cultivar y del clima de la región. Además, resulta importante el dominio de las técnicas de aislamiento, purificación y mantenimiento de cepas, así como el conocimiento de la fisiología, ciclo de vida, bioquímica, etc. de las especies, para determinar la factibilidad de su cultivo y, sobre todo, su demanda nutricional.

Tipo de cultivos de microalgas

Existen tres modalidades de cultivo de microalgas bajo estudio:

Estanques o sistemas abiertos al aire libre: operan descubiertos y expuestos al sol, con poca pro-

Tabla 3. Valores promedio de parámetros y composición de vinaza.

Valores de la vinaza	Promedio	Rango
pH (25°C)	5,1	4,8 – 5,4
Conductividad (mS/cm 25°C)	26,54	24,1 – 28,7
DQO (mg O ₂ /l)	98753	90000 - 110000
DBO/DQO	0,43	
ST (% p/p)	9,80	7,6 – 11,3
Contenido de agua (% p/p)	9,20	
Cenizas (% p/p)	4,05	3,3 – 4,8
Residuo seco (% p/p)	11,35	
Calcio (% p/p)	0,22	0,16 – 0,25
Magnesio (mg Mg/kg)	636	532 - 880
Sodio (mg/kg)	1048	544 - 1800
Potasio (% p/p)	1,49	1,21 – 1,82
Nitrógeno total (mg N ₂ /l)	238	161 - 402
Fósforo (mg P ₂ O ₅ /l)	535	290 - 890

Fuente: Sección Química de los Productos Agroindustriales, EEAOC.

Tabla 4. Requerimientos físicos principales de los cultivos de microalgas.

Requerimientos físicos	Valores
Intensidad de la luz (lux)	2000 – 5000
Temperatura (°C)	15 – 28
Salinidad (%)	0
pH	7 – 9
Fotoperíodo (luz: oscuridad) horas	16:8 (mínimo) 24:0 (máximo)

Fuente: elaborado con datos de Torrentera Blanco y Tacon (1989).

fundidad para que la luz pueda penetrarlos (Figura 1). Se diseñan para que en el interior circulen constantemente el agua, los nutrientes y las microalgas. Los nutrientes se suministran en forma continua, a fin de que las algas se reproduzcan a un ritmo acelerado. Al tenerse poco control de las condiciones ambientales, tales como temperatura del agua, nivel de CO₂ e intensidad lumínica, el crecimiento del cultivo depende de las condiciones del medio y se produce generalmente en los meses más cálidos. Es el sistema más simple y económico de cultivo, aunque el menos eficiente, puesto que hay una alta probabilidad de contaminación masiva por otros tipos de algas.

Tanques en invernadero o cerrados: existen diferentes configuraciones, que van desde auténticos invernaderos (Figura 2) hasta pequeños estanques, en los que se coloca vidrio o plástico encima de los tanques de producción. Poseen sistemas que permiten a las algas mantenerse en movimiento, de manera que todas reciban la misma cantidad de luz, nutrientes y CO₂; el contenido de estos se mantiene constante.



Figura 1. Estanques poco profundos (aproximadamente de 20 cm de profundidad) y abiertos, pertenecientes a una granja acuática en Cyanotech Corporation (Hawaii, EE. UU.).



Figura 2. Invernaderos en escala semi-industrial del Instituto Tecnológico de Canarias (sede Pozo Izquierdo, Gran Canaria).

Las ventajas de este sistema radican en un mejor control de la temperatura y una pérdida muy reducida de agua, factores que favorecen la reproducción de las algas y mejoran su rendimiento.

Empresas productoras que cultivan microalgas para otros mercados (alimentación, estética, etc.) optan por este sistema, por considerar que presenta un buen equilibrio entre eficiencia de producción y costos.

Fotobiorreactores: las microalgas se desarrollan en conductos transparentes aislados del exterior, que se colocan al aire libre para captar mayor cantidad de radiación solar. Un sistema automatizado se encarga de suministrar CO₂ y nutrientes, para optimizar al máximo la productividad.

En los fotobiorreactores, las microalgas no solo reciben radiación natural, sino también radiación artificial. Además, con ellos se pueden superar problemas que surgen con el uso de estanques abiertos, tales como la invasión de algas indeseables, las fluctuaciones de temperatura (ante las cuales las microalgas se muestran vulnerables) y la pérdida de microalgas por evaporación de agua. Sin embargo, el sistema supone instalaciones y costos energéticos adicionales que son muy importantes.

Entre los distintos tipos de fotobiorreactores, se encuentran los siguientes:

- Tubulares en forma horizontal: son tubos de plástico, vidrio o acrílico, en los que se hace circular el medio de cultivo en forma horizontal, con lo cual no precipitan las algas y todas reciben la misma cantidad de luz y nutrientes (Figura 3).

- Columna vertical de burbujas: se genera circulación del medio con algas en una columna vertical, a través del flujo de CO₂. Se ilumina con tubos de luz a lo largo de la columna. El objetivo de este reactor es disminuir el costo del cultivo de algas a gran escala y hacerlo más sencillo.

Limitantes para la producción de microalgas

Los sistemas de cultivo de microalgas actualmente presentan ciertas limitantes: hay poca información disponible para su escalamiento y el mantenimiento de monocultivos y la recolección de la biomasa plantean dificultades. Se hace necesario estudiar estos aspectos para lograr la optimización de los sistemas de cultivo de microalgas a escala industrial.

Proceso de producción de aceite

La producción de aceite a partir de microalgas consiste generalmente en las etapas de producción de biomasa rica en lípidos, recuperación o cosecha de esta biomasa y extracción de lípidos (Figura 4).

Condiciones para el cultivo

Se deben proporcionar agua, nutrientes, CO₂ y luz al sistema de cultivo (abierto, cerrado o fotobio-



Figura 3. Cultivo de microalgas en fotobiorreactores tubulares cerrados, en la Estación Experimental de Las Palmerillas (Fundación Cajamar), Almería, España.

reactores). La composición química de las microalgas no es un factor constante intrínseco, sino que varía de cepa a cepa. En este sentido, tienen un rol determinante los factores ambientales, tales como temperatura, iluminación, pH, contenido de minerales del medio, suministro de CO₂, agitación, tiempo de retención, etc. Estos factores pueden controlarse o modificarse para obtener una biomasa con la composición deseada.

Cosecha de algas

La etapa de cosecha o recolección consiste en la remoción del agua y la concentración de las células microalgales para su posterior procesamiento. El agua extraída es reutilizada en nuevos cultivos.

Esta etapa influye notablemente en los costos de producción de aceites de algas, por lo que la selección de una técnica de recolección eficiente y de bajo costo es fundamental. La centrifugación, sedimentación, filtración y floculación, ya sea individuales o combinados, son los procedimientos de cosecha más comunes y su aplicación y efectividad dependen de las propiedades de la especie microalgal cultivada y, especialmente, de su forma y tamaño (Harun *et al.*, 2010).

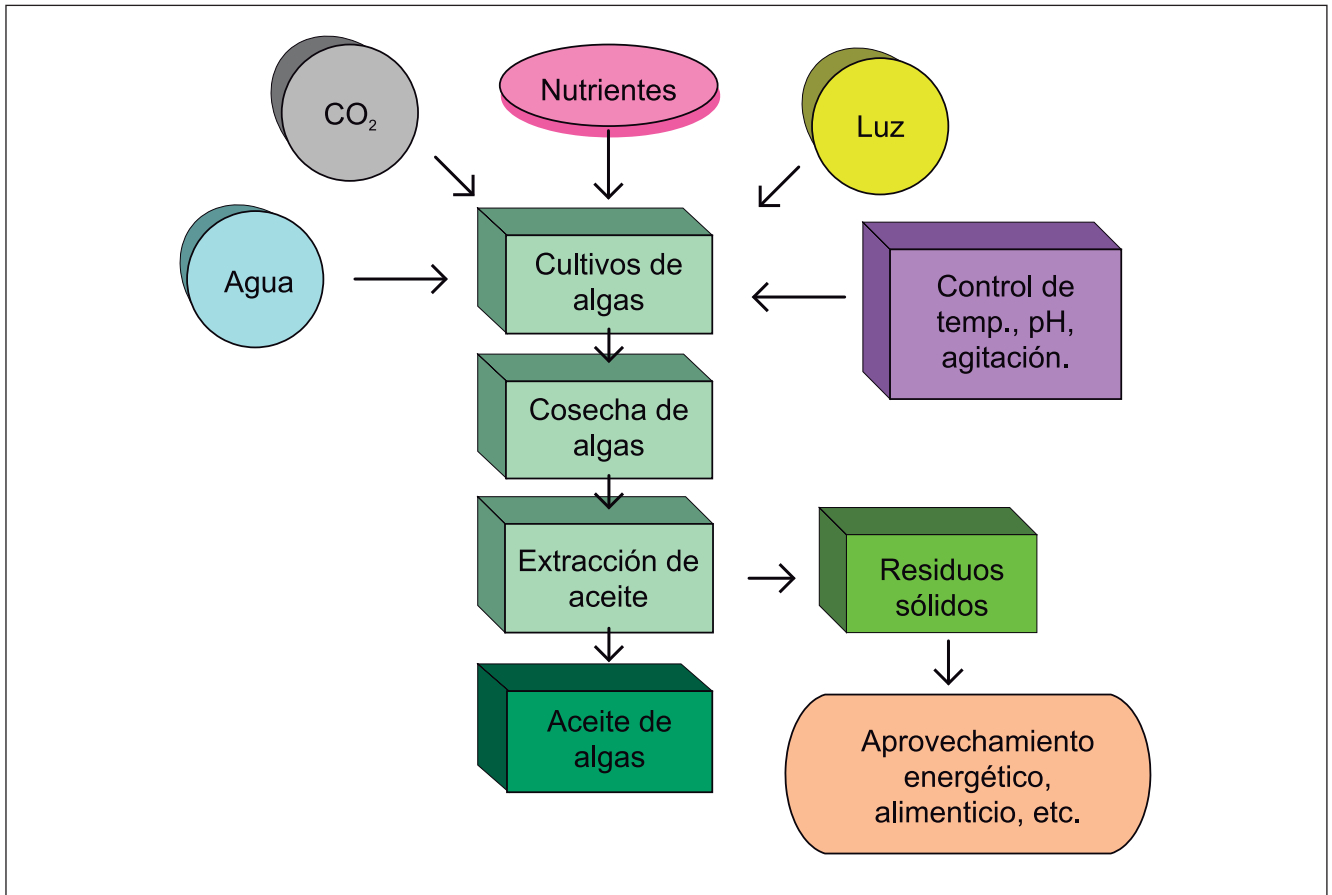


Figura 4. Esquema de producción de aceite a partir de microalgas.

Extracción de aceite

Del método utilizado en la extracción de aceite depende, en gran medida, la viabilidad de su producción y, por ende, la de la elaboración de biodiésel a base de aceite de algas, ya que se trata de un proceso sumamente costoso. Al presente se conocen al menos seis métodos (INTA, 2008):

1) **De prensa:** utiliza simplemente una prensa mecánica para extraer el aceite. Muchas veces es complementado con la aplicación de solventes que permiten eficiencias de hasta el 75%.

2) **De fluidos supercríticos:** en este proceso, el dióxido de carbono (CO_2) se licua y calienta bajo presión, con el objetivo de que actúe como solvente para la extracción de aceites. A pesar de que el método tiene eficiencias cercanas al 100%, es necesaria una fuerte inversión en maquinaria especial.

3) **Solventes, como hexano:** es un método con una eficiencia cercana al 95% y es relativamente barato. El hexano actúa como solvente, pero debe considerarse que este producto es muy inflamable y utilizarlo en grandes concentraciones es peligroso.

4) **De "shock" osmótico:** la ósmosis es un proceso biológico por el cual el líquido contenido dentro

de la célula genera una presión sobre las membranas y paredes celulares. Cuando esta presión se ve interrumpida, las membranas y paredes de la célula se rompen y se libera el aceite.

5) **Enzimático:** las enzimas pueden ser utilizadas para degradar las paredes celulares. Por el momento este método no se encuentra en el mercado, ya que requiere ser investigado en mayor profundidad.

Consideraciones finales

El cultivo de algas microscópicas como fuente de lípidos aptos para la producción de biodiésel y otros posibles usos industriales es resultado de estudios recientes y constituye una buena alternativa para la producción de este combustible, de tanta demanda para el transporte. Se trata de una alternativa netamente renovable y una buena opción para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y para el uso de efluentes líquidos como sustrato. También a su favor, debemos mencionar la alta producción posible por unidad de terreno dedicado a su cultivo.

Habría que evaluar la factibilidad técnica de un proceso que integre la selección de especies de

microalgas nativas con el diseño, construcción y operación de sistemas de cultivo capaces de producir cantidades que permitan proveer de aceites apropiados a plantas industriales, cuyas materias primas sean efluentes de otros procesos productivos, tales como la producción sucro-alcoholera. Para ello, es necesario optimizar las condiciones de crecimiento para la síntesis de aceites, el manejo de los protocolos de cosecha, la extracción y caracterización de los aceites y la producción de biodiésel.

La posibilidad de mejorar los procesos de producción y de reducir los costos de elaboración de los biocombustibles existe realmente en la medida en que se mejore la productividad para obtener materias primas, por lo que es indispensable realizar investigaciones en tecnología de producción de cultivos de algas apropiadas como fuente de obtención de aceites aptos para elaborar biodiésel.

Entre los desafíos tecnológicos que presenta este tipo de producción, se destaca la necesidad de encontrar tecnologías que permitan la extracción de aceites de algas con consumos de energía razonables. Resuelto este problema, se debe poner énfasis en la organización de una cadena productiva adecuada para garantizar la producción sostenida y el suministro estable de materia prima para la producción de biodiésel en forma sustentable.

Bibliografía citada

Brennan, L. and P. Owende. 2010. Biofuels from microalgae. A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 557-577.

Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25: 294-306.

Grobbelaar, J. U. 2004. Mineral nutrition. En: Richmond, A. (ed.), *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*, Blackwell Publishing Ltd., Iowa, USA, pp. 97-115.

Harun, R.; M. Singh; G. M. Forde and M. K. Danquah. 2010. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 1037-1047.

Hu, Q. 2004. Environmental effects on cell composition. En: Richmond, A. (ed.), *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*, Blackwell Publishing Ltd., Iowa, USA, pp. 83-93.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2008. Compendio de la producción de bioenergía a partir de las algas. [En línea]. Disponible en <http://inta.gov.ar/documentos/compendio-de-la-produccion-de-bioenergia-a-partir-de-algas/> (consultado 15 diciembre 2010).

Kaplan, D. 2004. Water pollution and bioremediation by microalgae. En: Richmond, A. (ed.), *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*, Blackwell Publishing Ltd., Iowa, USA pp. 439-447.

Mata, T. M.; A. A. Martins and N. S. Caetano. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 217-232.

Paniagua-Michel, J. 1994. Biotecnología microalgal y obtención de productos químicos y alimenticios. *Serie científica UABCS. N° Especial 2 (1):* 109-117.

Torrentera Blanco, L. y A. G. J. Tacon. 1989. Cultivo de microalgas. La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura. Documento de campo 12. FAO, Brasília, Brasil.



ACSOJA camino a sudáfrica 2013 | WSRCIX2013

World Soybean Research Conference 2013
del 17 al 22 de Febrero en Durban – Sudáfrica