

Perspectivas industriales en tecnologías de biofijación de CO₂ por microalgas

Industrial perspectives in bio fixation technologies for microalgae CO₂

Milton Cesar Ararat Orozco

Ingeniero Agrónomo *Ph. D.*

Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2482-1834>

email. milton.ararat@unad.edu.co

Oscar Eduardo Sanclemente Reyes

Ingeniero Ambiental *Ph. D.*

Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0283-2524>

email. oscar.sanclemente@unad.edu.co

Leonardo Vergara Patiño

Ingeniero Ambiental - Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD

email. lvergarap@unadvirtual.edu.co

RESUMEN.

El uso de las microalgas en diferentes sectores de la industria se ha convertido recientemente en una técnica atractiva para la captura y reciclaje del CO₂, con beneficios adicionales como la depuración de aguas residuales utilizadas como medio de cultivo y los posibles usos de la biomasa resultante. Conceptualmente la captura CO₂ mediante el proceso fotosintético de las microalgas puede considerarse una tecnología competente debido a su eficiencia en la conversión de este gas en compuestos orgánicos a través de su uso como nutriente en el medio de cultivo. Esta revisión tiene como objetivo socializar una perspectiva frente a tecnologías direccionadas a los desafíos en el tema de los impactos ecológicos por la biofijación de CO₂ por microalgas. Se realizó una búsqueda de los trabajos investigativos actuales relacionados con el cultivo de microalgas enfocados en la biofijación de CO₂ y producción de biomasa, mediante cultivos en diferentes medios como las aguas residuales. Ciertos estudios han mostrado que la especie *Scenedesmus* sp. no solo realizan fijación de CO₂ sino también que pueden convertir aproximadamente 15-25% de CO₂ atmosférico en

biodiésel. Además, su biomasa podría almacenar pigmentos (luteína) como aditivo en el tratamiento comercial de alimentos. Otra especie como *Chlorella vulgaris* se ha usado en la eliminación de elementos contaminantes de las aguas residuales. El cultivo de microalgas con fines de obtención de biomasa y captura de CO₂ puede proyectarse como una estrategia viable económicamente siempre y cuando, su cultivo este asociado al tratamiento de cuerpos de aguas residuales.

Palabras Clave: Biomasa, cambio climático, crecimiento microbiano, dióxido de carbono, estrategia biológica.

ABSTRACT.

The use of microalgae in different sectors of the industry has recently become an attractive technique for capturing and recycling CO₂, with additional benefits such as the purification of wastewater used as a culture medium and the possible uses of the resulting biomass. Conceptually, CO₂ capture through the photosynthetic process of microalgae can be considered a competent technology due to its efficiency in converting this gas into organic compounds through its use as a nutrient in the culture medium. The purpose of this review is to socialize a perspective regarding technologies aimed at challenges and perspectives on the topic of ecological impacts due to biofixation of CO₂ by microalgae. A search was made of current research works related to the cultivation of microalgae focused on biofixation of CO₂ and biomass production, using crops in different media such as wastewater. Certain studies have shown that the *Scenedesmus* sp. Not only do they fix CO₂ but they can also convert approximately 15-25% of atmospheric CO₂ into biodiésel for fuel. Furthermore, its biomass could store pigments (lutein) as an additive in commercial food treatment. Another species like *Chlorella vulgaris* has been used in the removal of polluting elements from wastewater. The cultivation of microalgae for the purpose of obtaining biomass and CO₂ capture can be projected as an economically viable strategy as long as its cultivation is associated with the treatment of wastewater bodies.

Keywords: Biomass, biological strategy, carbon dioxide, climate change, microbial growth.

INTRODUCCIÓN.

Los temas prioritarios relacionados con el cambio climático se han convertido en una de las principales preocupaciones a nivel global, considerándose socialmente como un problema ambiental crítico (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). El incremento de la temperatura en el planeta ha traído como consecuencia el aumento de la temperatura en la atmósfera y los océanos, reduciendo considerablemente los volúmenes de hielo y nieve a nivel global, causando un inevitable aumento en el nivel del mar (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

No obstante, se están haciendo numerosos esfuerzos en investigación para mitigar emisiones del CO₂ donde el uso de microalgas podría considerarse como factor clave para capturar carbono en cuerpos de agua (Razzak et al., 2017). Conceptualmente la fijación biológica de CO₂ se logra actualmente a través de fotosíntesis de todas las plantas terrestres y un gran número de microorganismos fotosintéticos (Barsanti & Gualtieri, 2006). Sin embargo, se estima que las plantas terrestres contribuyen en la reducción de solo un 3–6% en las emisiones globales de CO₂ (Skjanes et al., 2007). Las microalgas aun siendo organismos unicelulares poseen cualidades similares a las plantas terrestres como lo son la fotosíntesis y el uso del CO₂ como fuente de carbono, pero a diferencia de las plantas, las microalgas producen más del 50% del oxígeno del planeta (Enzing, 2014).

De acuerdo con Sanclemente & Ararat (2018), es conveniente reflexionar con interrogantes orientados al sentido de una comunidad ambiental y los alcances de un ciudadano capaz de hacer por su ambiente. En ese sentido se debe buscar el papel que debe asumir frente a la crisis ambiental contemporánea, y la perspectiva ecológica en el problema de contaminación.

Esta revisión resume avances investigativos sobre microalgas y las respectivas aplicaciones de subproductos, resaltando especies de microalgas apropiadas para lograr un proceso de mitigación de emisiones de CO₂ eficiente y económicamente factible.

DESARROLLO DEL TEMA

Investigación bibliográfica

La búsqueda de referencias bibliográficas se fundamentó en el uso del buscador Google Scholar, el cual sugiere diferentes revistas científicas y una enorme base de datos de investigación científica y medica como lo es ScienceDirect. Las principales palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron microalgae, CO₂, culture y wastewater. Se prefirió el uso de artículos en ingles debido a su mayor difusión y aceptación dentro de la comunidad científica, igualmente se dio prioridad a los artículos con menos de 10 años de publicación, buscando siempre los resultados más actualizados acerca del trabajo con microalgas en los diferentes campos. Las investigaciones que mejor se ajustaron al desarrollo de este trabajo, fueron las que se enfocaron en la captura de CO₂, el tratamiento de aguas residuales y la producción de biomasa con fines industriales como la producción de biodiésel.

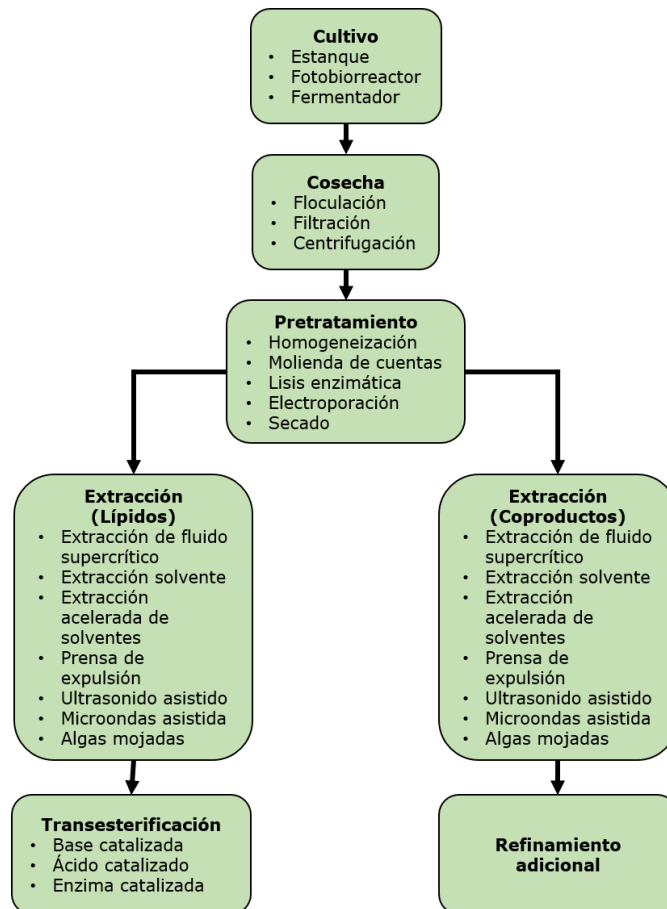
DISCUSIÓN.

Importancia de la Identificación de especies

Como posible solución a una serie de problemas medioambientales, como son los gases efecto invernadero (GEI), la biomasa almacena grandes cantidades de energía que se puede convertir a diesel, hidrógeno, metano, etanol, butanol, etc. mediante el uso de termoquímicos (Wang et al., 2008). Los métodos biológicos usados en la mitigación del dióxido de carbono han demostrado ser factibles para uso comercial (Ono & Cuello, 2006), cuyos resultados muestran que un proceso sostenible no solo debería fijar el CO₂ efectivamente, sino también convertir la biomasa en diferentes subproductos valiosos. Por ejemplo, estudios recientes han mostrado que *Scenedesmus* sp. no solo puede ser la prometedora microalga de fijación de CO₂ (Ho et al., 2011), sino también productor de algún lípido microalgal. Se ha encontrado que la especie *Scenedesmus* sp. podría convertir aproximadamente 15-25% de CO₂ atmosférico en biodiésel para combustible de transporte (Ho et al., 2011) y su biomasa podría acumular luteína y otros pigmentos para aplicaciones de alimentos saludables, siendo la luteína uno de los carotenoides más importantes para la ayuda alimentaria saludable y absoluta esencial para la vida humana y la retina ocular (Whitehead et al., 2006). Técnicamente el

cultivo de microalgas a gran nivel ha avanzado durante varios años con fines farmacéuticos y para consumo humano, sin embargo, la idea de producirlas o cultivarlas como fuente energética inicia desde la década de los años 1950 y solo se pensó que era importante después de 20 años debido al aumento del precio del petróleo, donde se evaluó ampliamente el potencial de las microalgas para la producción de biodiésel (Farroq, 2015).

Figura 1. Descripción general del proceso de producción de biodiésel de microalgas con los diversos tipos de reactores potenciales y operaciones unitarias. (Dickinson et al., 2017).



Condiciones y manejo de microalgas

En el contexto global para lograr producciones altas de biomasa y lípidos de forma simultánea es un factor esencial en la producción de biodiésel a partir de microalgas; La utilización de aguas de desecho ha sido un aliado importante en cuanto a viabilidad económica para el cultivo y contribuye, además a la descontaminación de dichas aguas. En un estudio realizado por Ge et al. (2018) se realizó una optimización de las condiciones autotróficas, heterotróficas y mixotróficas en el crecimiento de *Chlorella vulgaris* para la eliminación de nutrientes de las aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento. De las tres condiciones de cultivo las mixotróficas fueron las que mejor desempeño mostraron en cuanto productividad de biomasa (0.72 ± 0.01 g. L⁻¹) y mejores concentraciones de clorofila (0.72 ± 0.01 g. L⁻¹) y carotenoides (12.9 ± 0.4 µg.ml⁻¹). Finalmente se demostró que un cultivo integrado por condiciones autotróficas y mixotróficas mejora la productividad de la biomasa al tiempo que elimina nutrientes de las aguas residuales.

En un estudio realizado por Abedini et al. (2015) se empleó el suministro de diferentes fuentes de carbono orgánico e inorgánico durante el cultivo con el objetivo de incrementar la producción de lípidos en la biomasa de *Chlorella vulgaris*, los resultados obtenidos mostraron que el cultivo bajo una privación de nitrógeno durante una segunda etapa del cultivo incrementa la producción de lípidos y ácidos grasos. El uso de dióxido de carbono logró el incremento de la densidad celular, mientras que el uso de acetato de sodio como fuente de carbono derivó en un mayor contenido de ácidos grasos, también se usó melaza, la cual no fue tan eficiente pero debido a su precio más económico podría considerarse para la producción de lípidos.

Por su parte Yen et al., (2015) plantea un cultivo asociado entre la microalga *Scenedesmus obliquus* y la levadura oleaginosa *Rhodotorula glutinis*, con el objetivo de generar una transferencia de gases de una especie a otra, el oxígeno que genera la microalga alimenta a la levadura y esta a su vez genera el CO₂ que la microalga necesita, y de esta forma aumentar la producción de lípidos de ambas especies. Los resultados del cultivo asociado desarrollado en un fotobiorreactor de 5L mostraron un incremento del 40-50% de la biomasa y del 60-70% en lípidos totales comparado con los resultados en cultivos individuales.

Otra de las utilidades de las microalgas es el uso en la purificación del biogás CH₄ como lo plantea Thiansathit et al. (2015) en su investigación donde obtuvo un cultivo de *Scenedesmus obliquus* en un fotobiorreactor a escala laboratorio usando como fuente de carbono un suministro de biogás que contenía aproximadamente 60% de CH₄ y 40% de CO₂. Los resultados revelaron que el uso de biogás como fuente de carbono es una idea viable tanto para el crecimiento de las microalgas como para la purificación del biogás el cual incrementa su concentración.

De acuerdo con los reportes de Soccol et al., (2016), una especie de microalgas deseada debe tener una alta tasa de crecimiento, alta capacidad de fijación de CO₂, bajo riesgo de contaminación, bajo costo de operación, ser fácil de cosecha y rica en componentes valiosos en su biomasa (Tabla 1).

Tabla 1. Aplicaciones factibles aguas abajo de varias especies de microalgas

Especies de microalgas	Aplicaciones	Referencias
Chlorella	1. Moléculas promotoras salud 2. Aditivos alimentarios 3. Nutrición animal 4. Cosméticos 5. Biocombustibles	Gouveia et al. (1996) Borowitzka (1999) Spolaore et al. (2006) Wang et al. (2010) Chen et al. (2010)
Dunaliella salina	1. β-caroteno 2. Complementos alimenticios 3. Cosmético	Metting (1996) Spolaore et al. (2006)
Botryococcus braunii	1. Biodiésel	Chisti (2007) Chen et al. (2010)
Spirulina platensis	1. Productos farmacéuticos 2. Ficobiliproteínas 3. Nutrición humana	Raja et al. (2008) Spolaore et al. (2006) Belay et al. (1993)
Haematococcus pluvialis	1. astaxantina 2. aditivos alimentarios 3. Productos farmacéuticos	Spolaore et al. (2006)
Arthrospira	1. Caroteno 2. Cosméticos 3. Ficobiliproteínas	Spolaore et al. (2006)
Nannochloropsis	1. Ácido eicosapentaenoico (EPA)	Chisti (2007)

2. Biodiésel

Fuente de consulta: Shih-Hsin et al., (2012).

Algunas investigaciones han mostrado que la cinética de crecimiento de especies de microalgas está directamente relacionada a las concentraciones de CO₂ adicional utilizadas durante su cultivo, revelando que estas especies pueden ser utilizadas en la biofijación del CO₂ y la producción de biomasa (Kassim, 2017).

Dentro de las consideraciones finales, la conceptualización de esta revisión se ajusta a lo citado por Morales et al (2018), en la cual definen a las microalgas entre los sistemas biológicos más efectivos para convertir la luz solar en energía química, para capturar y transformar el carbono inorgánico en biomasa. Esta eficiencia de la captura de dióxido de carbono depende de la disposición del sistema de cultivo (fotobiorreactores o sistemas abiertos) y puede variar según el estado de la fisiología de las algas, la composición química del medio nutriente y factores ambientales como la irradiancia, la temperatura y el pH (Morales et al., 2018).

CONCLUSIONES.

En concordancia con Ramírez (2017), esta información puede ser de gran utilidad útil para la aplicación de procesos de ingeniería y de tecnología eficiente y comercial, analizando también la viabilidad de fotobiorreactores cerrados teniendo en cuenta la alta transferencia de masa, aprovechamiento de radiación solar y reducción de la contaminación por microorganismos foráneos.

Las tecnologías asociadas a los fotobiorreactores podrían facilitar un ambiente controlado para apropiarse a las demandas específicas de las microalgas de alta productividad y en consecuencia para lograr una directamente buena producción de materias primas para diferentes sectores industriales.

LITERATURA CITADA

Abedini, H., Malekzadeh, M., Jalilian, F., Vossoughi, M., & Pazuki, G. (2015). Effect of various carbon sources on biomass and lipid production of *Chlorella vulgaris* during nutrient sufficient and nitrogen starvation conditions.

Bioresource Technology, 180, 311-317. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.12.076>

Barsanti, L., & Gualtieri, P. (2006). *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology* (1st Edition ed.). CRC Press.

Belay, A., Ota, Y., Miyakawa, K., & Shimamatsu, H. (1993). Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina*. *Journal of Applied Phycology*. volume, 235–241. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00004024>

Borowitzka, M. (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, and fermenters. *Progress in Industrial Microbiology*, 313-321. doi:

[https://doi.org/10.1016/S0079-6352\(99\)80123-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6352(99)80123-4)

Chen, C., Yeh, K., Su, H., Lo, Y., Chen, W., & Chang, J. (2010). Strategies to enhance cell growth and achieve high-level oil production of a *Chlorella vulgaris* isolate. *Biotechnology Progress*, 679 - 686. doi:

<https://doi.org/10.1002/btpr.381>

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25, 294-306. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>

Dickinson, S., Mientus, M., Frey, D., Amini-Hajibashi, A., Ozturk, S., Shaikh, F., El-Halwagi, M. (2017). A review of biodiesel production from microalgae. *Clean Technologies and Environmental Policy* volume, 19, 637–668. doi:

<https://doi.org/10.1007/s10098-016-1309-6>

Enzing, C. P. (2014). *Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe*.

Farooq, W., Suh, W., Park, M., & Yang, J. (2015). Water use and its recycling in microalgae cultivation for biofuel application. *Bioresource Technology*, 184, 73-81.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.140>

Ge, S., Qiu, S., Tremblay, D., Viner, K., Champagne, P., & Jessop, P. (2018). Centrate waste water treatment with *Chlorella vulgaris*: Simultaneous enhancement of nutrient removal, biomass and lipid production. *Chemical Engineering Journal*, 342, 310-320. Doi:

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.02.058>

Gouveia, L., Veloso, V., Reis, A., Fernandes, H., Novais, J., & Empis, J. (1996). Evolution of pigment composition in *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*, 57, 161-163. doi: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(96\)00058-2](https://doi.org/10.1016/0960-8524(96)00058-2)

Ho, S., Chen, C., Lee, D., & Chang, J. (2011). Perspectives on microalgal CO₂-emission mitigation systems — A review. *Biotechnology Advances*, 29, 189-198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.11.001>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Obtenido de https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf

Kassim, M., & Meng, T. (2017). Carbon dioxide (CO₂) biofixation by microalgae and its potential for biorefinery and biofuel production. *Science of The Total Environment*, 584 - 585, 1121-1129. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.172>

Metting, F. (1996). Biodiversity and application of microalgae. *Journal of Industrial Microbiology* volume, 17, 477-489. doi:

<https://doi.org/10.1007/BF01574779>

Morales, M., Sánchez, L., & Revah, S. (2018). The impact of environmental factors on carbon dioxide fixation by microalgae. *FEMS Microbiology Letters*, 365. doi: <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx262>

Ono, E., & Cuello, J. (2006). Feasibility Assessment of Microalgal Carbon Dioxide Sequestration Technology with Photobioreactor and Solar Collector. *Biosystems Engineering*, 95, 597-606. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.08.005>

Raja, R., Hemaiswarya, S., Kumar, N., Sridhar, S., & Rengasamy, R. (2007). A Perspective on the Biotechnological Potential of Microalgae. *Critical Reviews in Microbiology*, 34, 77-88. doi: <https://doi.org/10.1080/10408410802086783>

- Ramírez, J. (2017). Viabilidad en la producción de biomasa microalgal a partir de fotobioreactores solares en el Valle del Cauca, Colombia. 8, 127 - 140. doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.2039>
- Razzak, S., Ali, S., Hossain, M., & deLasa, H. (2017). Biological CO₂ fixation with production of microalgae in wastewater – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 379 - 390. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117302514>
- Sanclemente, O., Ararat, M., & Balanta, E. (2018). Preliminary evaluation of solid waste in the market square of the municipality of Puerto Tejada (Cauca). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9, 355 - 368. doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.2349>
- Shih-Hsin Ho, Chun-Yen Chen, Jo-Shu Chang. (2012) Effect of light intensity and nitrogen starvation on CO₂ fixation and lipid/carbohydrate production of an indigenous microalga *Scenedesmus obliquus* CNW-N. *Bioresource technology* 113. 244-252
- Skjanes, K., Lindblad, P., & Muller, J. (2007). BioCO₂ – A multidisciplinary, biological approach using solar energy to capture CO₂ while producing H₂ and high value products. *Biomolecular Engineering*, 24, 405-413. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bioeng.2007.06.002>
- Socol Carlos Ricardo, Kaur Brar Satinder, Faulds Craig, Luiz Ramos Pereira. (2016). *Green Fuels Technology: Biofuels*. Curitiba Brazil. ISSN 1865-3537
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101, 87-96. doi: <https://doi.org/10.1263/jbb.101.87>
- Thiansathit, W., Keener, T., Khang, S., Ratpukdi, T., & Hovichitr, P. (2015). The kinetics of *Scenedesmus obliquus* microalgae growth utilizing carbon dioxide gas from biogas. *Biomass and Bioenergy*, 76, 79-85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.03.012>
- Wang, H., Pan, J., Chen, C., Chiu, C., Yang, M., Chang, H., & Chang, J. (2010). Identification of anti-lung cancer extract from *Chlorella vulgaris* C-C by antioxidant property using supercritical carbon dioxide extraction. *Process Biochemistry*, 45, 1865-1872. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.023>

Whitehead, A., Mares, J., & Danis, R. (2006). Macular Pigment: A Review of Current Knowledge. *Archives of Ophthalmology*, 124, 1038-1045.

Yen, H., Chen, P., & Chen, L. (2015). The synergistic effects for the co-cultivation of oleaginous yeast *Rhodotorula glutinis* and microalgae *Scenedesmus obliquus* on the biomass and total lipids accumulation. *Bioresource Technology*, 184, 148-152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.113>