

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Microalgas y Cianobacterias: ¿qué son? ¿dónde encontrarlas? ¿cómo cultivarlas?

Salgado Rivera Juanita¹, Barona Duque Kerynd¹, Guzmán Jojoa David M¹,
Álvarez Aldana Adalucy.²

Resumen

Introducción: Las microalgas y cianobacterias han estado presentes en la tierra desde hace millones de años. Se conoce como algas a un grupo polifilético conformado por organismos pertenecientes a los dominios bacteria y eucariota. **Metodología:** En la búsqueda de información utilizaron cuatro bases de datos, un filtro de 5 años y diferentes palabras clave. **Conclusiones:** El potencial que presentan las microalgas es inmenso, su capacidad adaptativa y presencia en todos los ambientes les convierte en un microorganismo de interés, aún hay muchísimo por conocer y mucho más en la región.

Palabras clave:

Microalgae, Cultivos, Taxonomía, Importancia, Potencial.

Abstract:

Microalgae and cyanobacteria have been present on earth for millions of years. Algae is known as a polyphyletic group consisting of organisms belonging to the bacteria and eukaryotic domains. **Methodology:** In the search for information, they used four databases, a 5-year filter and different keywords. **Conclusions:** The potential presented by microalgae is immense, their adaptive capacity and presence in all environments makes them a microorganism of interest, there is still a lot to know and much more in the region.

Keywords:

Microalgae, Crops, Taxonomy, Importance, Potential

1 Estudiantes Programa de Microbiología. Universidad Libre Pereira. Semillero Microorganismos de importancia en salud humana y animal "OBVIO MICROBIO".

2 Profesora investigadora. Programa de Microbiología. Grupo de investigación MICROBIOTEC. Universidad Libre Seccional Pereira. Líder Semillero "OBVIO MICROBIO"

Introducción

Las microalgas y cianobacterias han estado presentes en la tierra desde hace millones de años, estas hicieron parte de los primeros organismos vivos en el planeta y se les atribuye en primera instancia la fotosíntesis, cuya aparición transformó la dinámica de evolución del planeta (1). Se conoce como algas a un grupo polifilético conformado por organismos, gen-

eralmente acuáticos, pertenecientes a los dominios bacteria y eucariota, a su vez integran diferentes reinos (2) (Figura 1).

Para llevar a cabo la fotosíntesis estos organismos tienen un compuesto llamado clorofila, que es el encargado de producir su color característico además de hacer parte fundamental en la captación de fotones de luz para su uso durante este proceso (3)(4).

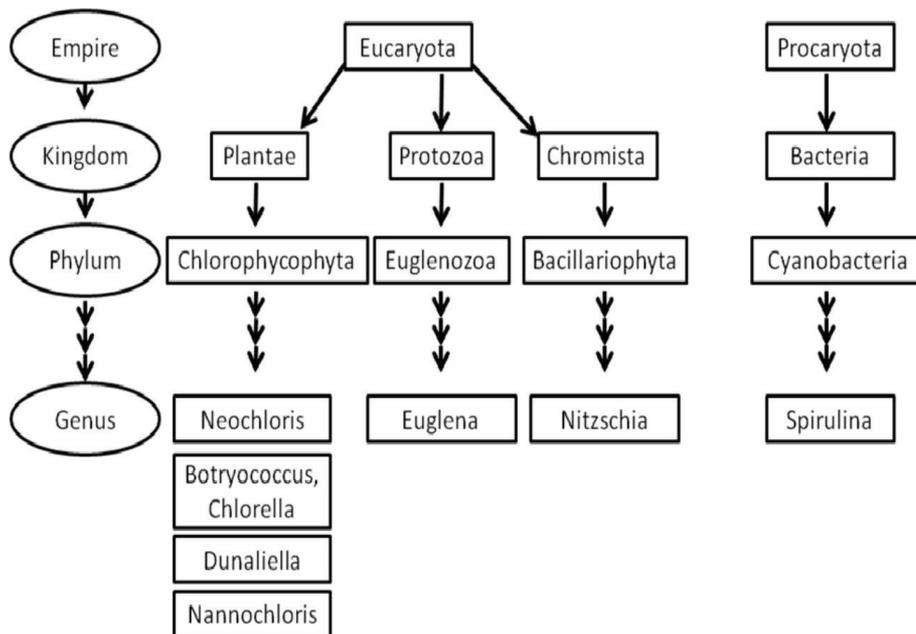


Fig. 2: Taxonomy of some algae species potentially useful for biodiesel production.

Figura 1. Panorama polifilético de microalgas. Tomado de (2)

Estos organismos son conocidos por tener una alta eficiencia fotosintética y son las productoras primarias de más rápido crecimiento (5). Además de su importancia durante el proceso de nutrición de las algas, la clorofila es un elemento que ha

servido para lograr una clasificación de estas (Tabla 1) dado que esta es quien otorga el color principal al organismo y es el primer factor de clasificación morfológica (6)(4)(7).

Tabla 1. Clasificación de microalgas según su clorofila. Tomado de (7)

Clorofila a y b	Clorofila a y ficobilinas	Clorofila a y c
Chlorophytes	Rhodophytes	Cryptophytes
Chlorarachniophytes	Glaucophytes	Haptophytes
Euglenophytes		Dinoflagellates
		Heterokont algae:
		Bacillariophytes
		Chrysophytes
		Dictyochophytes
		Eustigmatophytes
		Pelagophytes
		Phaeophytes
		Phaeothniophytes
		Raphidophytes
		Synurophytes
		Xanthophytes

El avance en las tecnologías de identificación molecular y muchos estudios en este campo han resultado en la construcción diferentes tipos de mapas filogenéticos en busca de aclarar el panorama evolutivo y la diversidad de los phylum descritos que deriva en lo polifilético de este grupo. Los alineamientos de las secuencias conseguidas a través de los años han llevado

al planteamiento de una nueva clasificación del dominio eucariota (8). En la que se prescinde del uso de reinos y los organismos son reclasificados en supergrupos (9), en los que las microalgas han sido ubicadas particularmente en tres de estos, Excavata, Chromophytes, Rhizaria (Figura 2) (10)

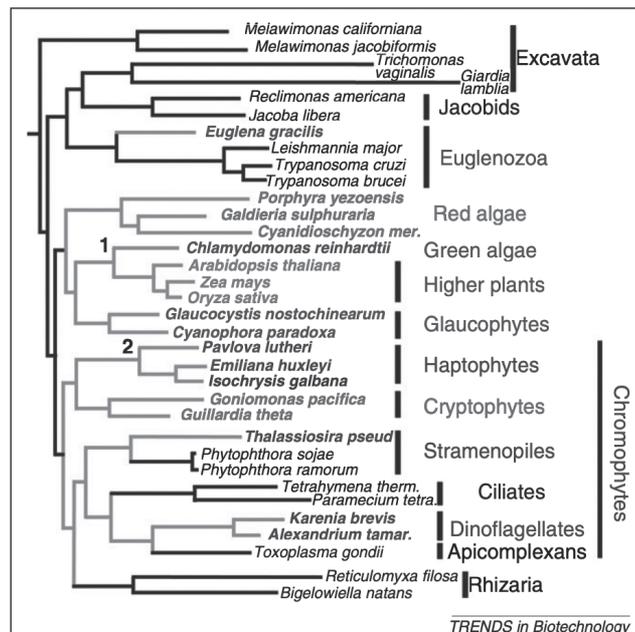


Figura 2. Clasificación taxonómica de microalgas. Extraído de: (10)

Desde hace algún tiempo las microalgas han llamado la atención de ciencia e industria gracias a que se les ha descubierto como una fuente importante de biomasa y algunos otros compuestos de importancia (11), además de la captación, fijación y transformación del CO₂ del planeta, o también llamado biorremediación del aire (12). Entre las sustancias producidas por estos organismos y que son de interés que se han encontrado diferentes aceites para producción de biocombustibles o suplementos alimenticios y una alta concentración de proteínas asimilables por animales en general (13).

En este orden de ideas, se plantea esta revisión con el fin de comprender un poco

más la naturaleza de estos organismos, su clasificación taxonómica, su cultivo y los diferentes usos que se les puede dar desde una perspectiva biotecnológica.

Metodología

En la búsqueda de información se utilizaron cuatro bases de datos, Sciencedirect, Scielo, Pubmed y google académico, junto con las palabras clave Microalgae, Microalgae culture, Microalgae taxonomy, Microalgas Colombia y Microalgas eje cafetero. Estas se filtraron por el factor años, y se restringió la búsqueda a los últimos 5 años.

Resultados

Tabla 2. Resultado de la búsqueda bibliográfica. Fuente propia.

Palabra clave	Sciencedirect	Scielo	Pubmed	Google académico
Microalgae	14.404	175	5.386	42.100
Microalgae Culture	9.154	69	1.070	27.500
Microalgae Taxonomy	2.167	4	288	16.800
Microalgas Colombia	32	9	1	1.950
Microalgas eje cafetero	0	0	0	28

Se han encontrado microalgas en todo tipo de ambientes, en los acuaticos están presentes en vida libre, ocasionalmente ligados con otros organismos como corales y esponjas (14-16), en los terrestres están en simbiosis con hongos e incluso hay registro de su presencia afectando monumentos en zonas arqueológicas (17).

Han sido reportadas en todas las condiciones de pH, concentración salina o temperatura (13). Ferrero et al (18), logró aislar diferentes especies a partir de fuentes de aguas residuales, lagos y ríos; después de haberles incubado en agua tomada del lugar de origen, hicieron un proceso de aislamiento usando esta misma agua estéril, con una fuente de carbono y agar.

El cultivo general por excelencia se da en caldos, con el uso de fotobiorreactores (PBR, por sus siglas en inglés) y un constante suministro de CO₂, esto porque las condiciones de crecimiento requieren la fijación de este gas y la intervención de fotones para la activación de la fotosínte-

sis (19). Las complicaciones presentadas por este tipo de cultivos han incentivado la exploración de nuevas técnicas de conservación como algunas de inmovilización en agar (18,20) y en alginato de calcio (21,22).

T.S. Cha et al.

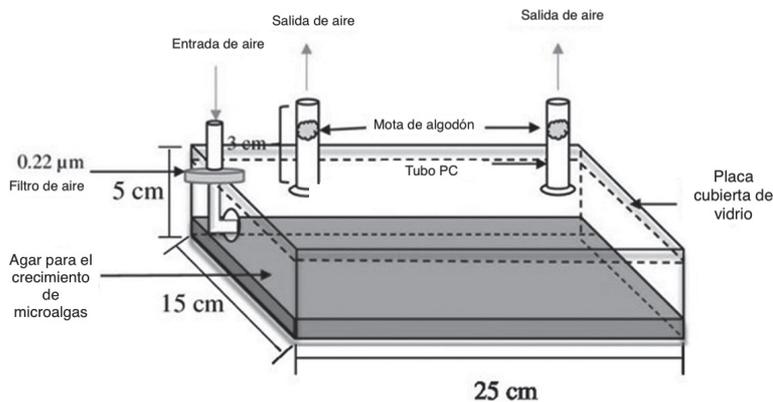


Figura 3. Modelo propuesto por Chat et al. Extraído y editado de: (25)

Estas técnicas deben cumplir con los requerimientos de nutrición del organismo, para ellos muchos recurren al uso de medios recomendados en literatura, que poseen una fuente de carbono disponible, y otros simplemente con utilizan agua tomada del origen del alga esterilizada a la que adicionan bicarbonato como una fuente de carbono (23) (24). Chat et al por su parte, proponen un nuevo método combinando el sistema de cultivo bacteriano tradicional, con el de flujo continuo de aire (25).

Ellas pueden también ser masivamente cultivadas en PBR abiertos (estanques) o cerrados. Dependiendo de las aplicaciones, el crecimiento puede ser foto incentivado con luz natural o artificial (26). Por la variabilidad que tienen las algas muchas especies son estudiadas para ser usadas

en procesos de biorremediación de aguas residuales utilizándoles en plantas tipo petar como una parte más del proceso de saneamiento de estas aguas (27,28).

Los estanques abiertos son económicos y su escalamiento se facilita, mientras que los sistemas cerrados son notoriamente costosos, lo que limita su uso (24). Como resultado, al rededor del 90% de la actual producción de biomasa industrial a nivel mundial es obtenida en sistemas abiertos (29). Por motivos del control de variables ambientales y la experimentación de fuentes, intensidades, colores y tiempos de los fotones que excitan la fotosíntesis para investigación se prefieren los sistemas cerrados sobre los abiertos (30). Muchos de estos son programados para generar ciclos determinados de luz y oscuridad (31),

además también facilitan el uso de luces de diferentes colores para mirar su efecto sobre el cultivo (32).

Una limitante en los estanques abiertos es la cosecha, porque se ha encontrado que los tamaños pequeños (micrómetros) y la baja densidad (menor al 1%) de microalgas en el cultivo hacen de la cosecha un

proceso difícil y de mucho gasto energético en el cultivo tradicional de microalgas suspendidas (33). Es por esto que escoger una técnica de cosecha es crucial, esta debe cumplir con parámetros que sirvan al fin que tendrá la biomasa (34), las técnicas más utilizadas para la cosecha se presentan en la Figura 4.

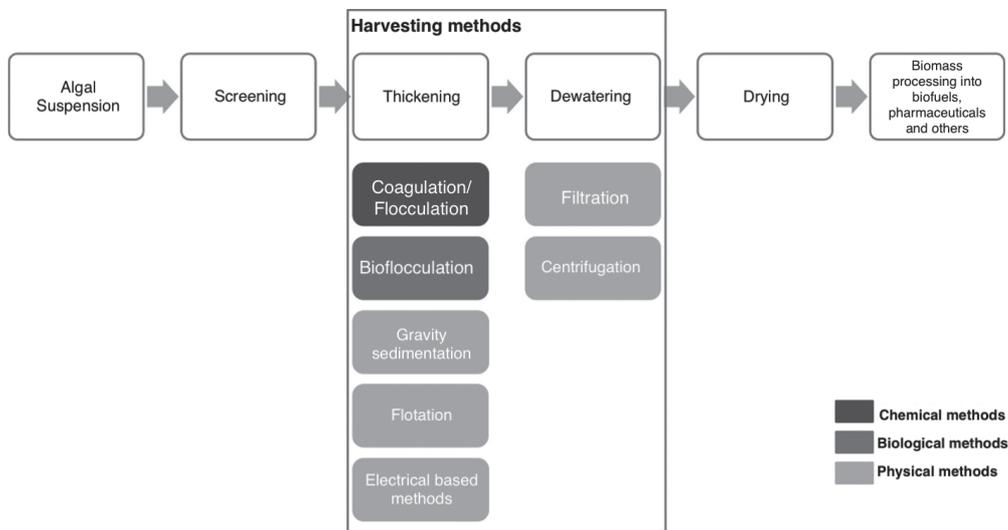


Fig. 1. Diagram of microalgal harvesting and drying techniques.

Figura 4 Técnicas para cosecha de biomasa microalgar. Extraído de: (34)

A pesar de la variedad de métodos existentes el costo de cosecha continúa siendo un cuello de botella para la producción industrial de microalgas, este es aproximadamente un 2030% del costo total de producción(35). Por esta razón la búsqueda de un método de cosecha sencillo y rentable es una prioridad entre las investigaciones de microalgas. Estas investigaciones han encontrado la respuesta a este problema en dos caminos, idear nuevos métodos de cosecha (36–38)(39), o proponiendo diferentes técnicas de cultivo (33).

Estos organismos son ampliamente explorados desde hace algunas décadas (40)

porque se les han encontrado diversos usos con alto potencial de explotación biotecnológica. Estas aplicaciones están en salud y nutrición humana y animal, con la posible obtención de biomoléculas de alta importancia como proteínas y lípidos, además de algunas alternativas en tratamiento de enfermedades como cáncer (41)(42) (41).

Es también claro que cumplen un papel muy importante en los procesos de biorremediación de aguas, suelo y aire (43) (44,45), esto no solo asimilando el material orgánico presente, sino también disminuyendo la presencia de metales pesados

que puedan contaminar aguas y gases de efecto invernadero que tienen alta presencia en el aire y son altamente nocivos para la salud humana y animal.

La producción de biocombustibles de alto rendimiento, a partir de la gran cantidad de lípidos que estas generan en su desarrollo es también uno de los mayores intereses de estudio en estos microorganismos y tal vez la virtud de ellas que es más conocida, apetecida y explotada por la parte industrial (46,47).

En Colombia se están empezando a realizar investigaciones en estos microorganismos, sus beneficios se están aplicando en la minería como Torres (48), en la caracterización de sus aceites (49) y su potencial uso en la industria (50,51), o simplemente para saber de qué forma las actividades humanas les están afectando (52). Estos avances se concentran en la zona costera (53) y las zonas con alta explotación petrolera como el Meta, en la región cafetera los avances han sido limitados y no se han encargado de caracterizar o explotar las especies que se podrían encontrar en las fuentes hídricas propias de la zona.

Conclusiones

El potencial que presentan las microalgas, como lo mencionan diversos artículos, es inmenso. Su capacidad adaptativa y presencia en todos los ambientes, especialmente acuáticos, las hace un microorganismo de interés por su facilidad de cultivo. Si bien aún hay mucho que explorar en cuanto a sus métodos de cultivo y cosecha, son microorganismos cuya investigación se facilita, y sobre los que todavía hay mucho por conocer.

En la región no hay suficientes datos sobre las poblaciones que se puedan encontrar y las bondades o beneficios que estas

puedan traer a la comunidad. Sin duda alguna vale la pena saber qué hay y poder empezar a generar formas de explotar sus usos a favor de todos.

Referencias Bibliográficas

1. Savada D, Hills DM, Heller HC, Berenbaum MR. Life The Science of Biology [Internet]. Ninth Edit. Sinauer Associates I, editor. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., W.H. Freeman and Company; 2011. 1–1392 p. Available from: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/CBO9781107415324A009/type/book_part
2. Krasowska A, Jablonski S, Biniarz P, Plachetka M, Lukaszewicz M. Microalgae – Biodiesel Potential Producers: a Review. Eur Sci Journal, ESJ [Internet]. 2013;9(21):24–6. Available from: <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/1476>
3. Delgadillo Rodríguez IP, Montenegro Ruíz LC, Pinilla Agudelo GA, Melgarejo LM. Medición de la fluorescencia de la clorofila a en algas encapsuladas en alginato de calcio. Acta Biológica Colomb [Internet]. 2017 May 1;22(2):199–208. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v22n2/v22n2a09.pdf>
4. Gómez-Espinoza O, Guerrero-Barrantes M, Meneses-Montero K, Núñez-Montero K. IDENTIFICACIÓN DE UNA COLECCIÓN DE MICROALGAS AISLADAS DE COSTA RICA MEDIANTE SECUENCIACIÓN DE ADNr 18S Identification of a Microalgae Collection Isolated from Costa Rica by 18S rDNA Sequencing. Acta Biológica Colomb [Internet]. 2018;23(2):199–204. Available from: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v23n2.68088>

5. Brendan T. Higgins, David Nobles, Yan Ma, William Wikoff, Tobias Kind OF, Jerry Brand JSV. Informatics for improved algal taxonomic classification and research: A case study of UTEX 2341.pdf. *Algal Res.* 2015;12:545–9.
6. Szymański N, Dąbrowski P, Zabochnicka-Świątek M, Panchal B, Lohse D, Kalaji HM. Taxonomic classification of algae by the use of chlorophyll a fluorescence. *Sci Rev Eng Environ Sci.* 2017;26(4):470–80.
7. Ayala-Montaña S. Clasificación taxonómica de microalgas presentes en un consorcio microbiológico que biorremedia el efluente de una planta de sacrificio de bovinos y porcinos. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Universidad de los Andes; 2016.
8. Adl SM, Bass D, Lane CE, Lukeš J, Schoch CL, Smirnov A, et al. Revisions to the Classification, Nomenclature, and Diversity of Eukaryotes. *J Eukaryot Microbiol.* 2019;66(1):4–119.
9. Butterfield NJ. Early evolution of the Eukaryota. *Palaeontology.* 2015;58(1):5–17.
10. Larkum AWD, Ross IL, Kruse O, Hankamer B. Selection, breeding and engineering of microalgae for bioenergy and biofuel production. *Trends Biotechnol [Internet].* 2012;30(4):198–204. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.11.003>
11. Castrillo M, Díez-Montero R, Tejero I. Model-based feasibility assessment of a deep solar photobioreactor for microalgae culturing. *Algal Res [Internet].* 2018;29(July 2017):304–18. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.12.004>
12. Morais EG de, Cassuriaga APA, Callejas N, Martinez N, Vieitez I, Jachmanián I, et al. Evaluation of CO₂ Biofixation and Biodiesel Production by *Spirulina* (*Arthospira*) Cultivated In Air-Lift Photobioreactor. *Brazilian Arch Biol Technol [Internet].* 2018 Dec 10;61(0). Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132018000100703&lng=en&tlng=en
13. Bermudez-sierra J. Extração de lípidios da microalga *Scenedesmus* sp . Com diferentes mistura de solventes orgânicos. *Biotechnol en el Sect Agropecu y agroindustrial.* 2018;16(2):88–98.
14. Apprill A. The Role of Symbioses in the Adaptation and Stress Responses of Marine Organisms. *Ann Rev Mar Sci.* 2020;12(1):1–24.
15. Morishima S-Y, Yamashita H, O-hara S, Nakamura Y, Quek VZ, Yamauchi M, et al. Study on expelled but viable zooxanthellae from giant clams, with an emphasis on their potential as subsequent symbiont sources. *PLoS One.* 2019;14(7):e0220141.
16. Pernice M, Nils JR, Voolstra CR, Cárdenas A, Pogoreutz C. Down to the bone : the role of overlooked endolithic microbiomes in reef coral health. *ISME J [Internet].* 2019; Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41396-019-0548-z>
17. Galindo-Alcázar O, Medina Jaritz NB, Garduño-Solórzano G, Olvera-Ramírez R. Cianobacterias Y Microalgas De Biopelículas Superficiales De La Zona Arqueológica De Malinalco, México. *Cyanobacteria and Microalgae From Surface Biofilm From Malinalco, Mexico, an Archaeological Site. Polibotánica.* 2018;0(45):131–46.
18. Ferro L, Gentili FG, Funk C. Isolation and characterization of microal-

- gal strains for biomass production and wastewater reclamation in Northern Sweden. *Algal Res* [Internet]. 2018;32(August 2017):44–53. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.03.006>
19. Huarachi Olivera RE, Yapó Pari UA, Dueñas Gonza AP, Condori Huamanga J, Pacheco Salazar D, Soto Flores J. Cultivo de *Arthrospira platensis* (Spirulina) en fotobiorreactor tubular doblemente curvado a condiciones ambientales en el sur del Perú. *Rev Colomb Biotecnol*. 2015;17(1):143–50.
 20. Kandilian R, Jesus B, Legrand J, Pilon L, Pruvost J. Light transfer in agar immobilized microalgae cell cultures. *J Quant Spectrosc Radiat Transf*. 2017;198:81–92.
 21. Lopez BR, Hernandez JP, Bashan Y, de-Bashan LE. Immobilization of microalgae cells in alginate facilitates isolation of DNA and RNA. *J Microbiol Methods* [Internet]. 2017;135:96–104. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mimet.2017.02.005>
 22. Forero-Cujiño MA, Montengro Ruiz LC, Pinilla-Agudelo GA, Melgarejo-Muñoz LM. INMOVILIZACIÓN DE LAS MICROALGAS *Scenedesmus ovalternus* (Scenedesmaceae) Y *Chlorella vulgaris* (Chlorellaceae) EN ESFERAS DE ALGINATO DE CALCIO. *Acta Biológica Colomb*. 2016;21(2):437–42.
 23. Tandon P, Jin Q. Microalgae culture enhancement through key microbial approaches. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2017;80(May):1089–99. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.260>
 24. Rincon SM, Romero HM, Aframehr WM, Beyenal H. Biomass production in *Chlorella vulgaris* biofilm cultivated under mixotrophic growth conditions. *Algal Res* [Internet]. 2017;26(June):153–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2017.07.014>
 25. Cha TS, Chee JY, Loh SH, Jusoh M. Oil production and fatty acid composition of *Chlorella vulgaris* cultured in nutrient-enriched solid-agar-based medium. *Bioresour Technol Reports* [Internet]. 2018;3(August):218–23. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.08.005>
 26. Martínez C, Mairet F, Bernard O. Theory of turbid microalgae cultures. *J Theor Biol*. 2018;456:190–200.
 27. Farooq W, Suh WI, Park MS, Yang J-W. Water use and its recycling in microalgae cultivation for biofuel application. *Bioresour Technol* [Internet]. 2015 May;184:73–81. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.140>
 28. Acevedo S, Pino NJ, Peñuela GA. Remoción de nitrógeno, fósforo y producción de biomasa de *Scenedesmus* sp en agua residual doméstica. *Ing y Compet*. 2017;19(1):177.
 29. Pruvost J, Legrand J, Le Borgne F, Lepine O, Le Gouic B. Microalgae culture in building-integrated photobioreactors: Biomass production modelling and energetic analysis. *Chem Eng J* [Internet]. 2015;284:850–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.08.118>
 30. Sepulveda C, Gómez C, El Bahraoui N, Acién G. Comparative evaluation of microalgae strains for CO₂ capture purposes. *J CO₂ Util* [Internet]. 2019;30(November 2018):158–67. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2019.02.004>
 31. Liao Q, Li L, Chen R, Zhu X. A novel photobioreactor generating the light/dark cycle to improve microalgae cultivation. *Bioresour Technol* [In-

- ternet]. 2014;161:186–91. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.119>
32. Jung J-H, Sirisuk P, Ra CH, Kim J-M, Jeong G-T, Kim S-K. Effects of green LED light and three stresses on biomass and lipid accumulation with two-phase culture of microalgae. *Process Biochem* [Internet]. 2019 Feb 1 [cited 2019 Mar 17];77:93–9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511318316118?via%3Dihub>
 33. Liu F, Zhang T-Y, Hu H-Y, Wu Y-H, Yu D, Zhang J, et al. The characteristics and influencing factors of the attached microalgae cultivation: A review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2018;94(November 2017):1110–9.
 34. Barros AI, Gonçalves AL, Simões M, Pires JCM. Harvesting techniques applied to microalgae: A review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2015;41:1489–500.
 35. Huang Z, Cheng C, Liu Z, Luo W, Zhong H, He G, et al. Gemini surfactant: A novel flotation collector for harvesting of microalgae by froth flotation. *Bioresour Technol* [Internet]. 2019;275:421–4. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.106>
 36. Loch-Neckel G, Schütz FE, Derner RB, Lemos-Senna E. Obtenção de extratos secos de carotenoides a partir da biomassa da microalga *Haematococcus pluvialis* por secagem em torre de aspersão (spray-drying). *Matéria (Rio Janeiro)*. 2018;23(4).
 37. TOKER OS. *Porphyridum Cruentum* as a natural colorant in chewing gum. *Food Sci Technol*. 2018;2061.
 38. Praveen K, Abinandan S, Nataraajan R, Kavitha MS. BIOCHEMICAL RESPONSES FROM BIOMASS OF ISOLATED *Chlorella sp.*, UNDER DIFFERENT CULTIVATION MODES: NON-LINEAR MODELLING OF GROWTH KINETICS. *Brazilian J Chem Eng* [Internet]. 2018 Jun;35(2):489–96. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322018000200489&lng=en&tlng=en
 39. Chen Q, Fan Q, Zhang Z, Mei Y, Wang H. Effective in situ harvest of microalgae with bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacter xylinus*. *Algal Res* [Internet]. 2018;35(February):349–54. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.09.002>
 40. Schwartz J, Shkiar G, Reid S, Tricker D. Prevention of Experimental Oral Cancer by Extracts of *Spirulina-Dunaliella* Algae. *Nutr Cancer*. 1988;11(2):127–34.
 41. Krishna Koyande A, Chew KW, Rambabu K, Tao Y, Chu D-T, Show P-L. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Sci Hum Wellness* [Internet]. 2019; Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213453018301435>
 42. Lucía M, Micán M, Juliana R, Piñeros C, Geraldin I, Ruiz M. Uso potencial de fitoquímicos derivados de microalgas para la obtención de nutraceuticos potential Use of microalgalic derivative phytochemicals for nutraceutical obtaining. *América Semilleros Form Investig*. 2017;3(1):91-100.
 43. Angulo E, Bula L, Mercado I, Montaña A, Cubillán N. Bioremediation of Cephalexin with non-living *Chlorella sp.*, biomass after lipid extraction. *Bioresour Technol* [Internet]. 2018;257(February):17–22. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.079>

44. Praveen P, Guo Y, Kang H, Lefebvre C, Loh KC. Enhancing microalgae cultivation in anaerobic digestate through nitrification. *Chem Eng J* [Internet]. 2018;354(August):905–12. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.08.099>
45. Olkiewicz M, Caporgno MP, Taleb A, Legrand J, Pruvost J, Font J, et al. Microalgae cultivation in urban wastewater: Nutrient removal and biomass production for biodiesel and methane. *Algal Res* [Internet]. 2015;10:232–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2015.05.011>
46. Mofijur M, Rasul MG, Hassan NMS, Nabi MN. Recent Development in the Production of Third Generation Biodiesel from Microalgae. *Energy Procedia* [Internet]. 2019;156(September 2018):53–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.088>
47. Pradana YS, Sudibyo H, Suyono EA, Indarto, Budiman A. Oil Algae Extraction of Selected Microalgae Species Grown in Monoculture and Mixed Cultures for Biodiesel Production. *Energy Procedia* [Internet]. 2017;105:277–82. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.314>
48. Torres DD, Cáceres Sepúlveda S, Roa AL, Suárez Gelvez JH, Urbina Suárez NA. Utilización de microalgas de la división Chlorophyta en el tratamiento biológico de drenajes ácidos de minas de carbón. *Rev Colomb Biotecnol*. 2018;19(2):95–104.
49. Cobos Ruiz M, Paredes Rodríguez JD, Castro Gómez JC. INDUCCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LÍPIDOS TOTALES EN MICROALGAS SOMETIDAS A ESTRÉS NUTRITIVO. *Acta Biológica Colomb* [Internet]. 2015 Nov 13;21(1):17–26. Available from: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/47439>
50. Sebasti J, Soler D, Dos TS. Astaxantina en Colombia : el colorante de alto valor comercial. *Ean Buisness Rev* [Internet]. 2015;5(2):1–4. Available from: <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revist/article/view/1721>
51. González-Delgado ÁD. Producción de biomasa y proteínas de *Chlorella vulgaris* Beyerinck (Chlorellales: Chlorellaceae) a través del diseño de medios de cultivo selectivos. *Corpoica Cienc y Tecnol Agropecu*. 2017;18(3):1.
52. Moreno Rodriguez F, Caro Caro CI, Pinilla GA, Osorio DP. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE MICROALGAS DEL PERIFITON Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN EL DEPARTAMENTO DEL META, COLOMBIA. *Acta Biol Colomb* [Internet]. 2017;22(3):274–306. Available from: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-029589330&doi=10.15446%2Fabc.v22n3.60619&partnerID=40&md5=c069dd769834974a7f6148e5ec29617c>
53. Escobar KF, Bonilla JO, Chaparro AR. Extracción de aceite a partir de microalgas obtenidas de la laguna El Estanco, en San Andrés de sotavento - Colombia. *KnE Eng*. 2018;3(1):11.