



MICROALGAS: POTENCIAL PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL

Palomino M. Alejandra*; Estrada F. Cesar*¹; López G. Jorge*

*Facultad de ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia - 1email: cesare489@hotmail.com

RESUMEN – La sostenibilidad económica, ambiental y social es la llave principal en el manejo de los recursos naturales, esto ha generado la búsqueda de soluciones a nuevos retos ingenieriles que lleven de la mano a impactos positivos al medio ambiente y a la estructura económica de la sociedad, que actualmente continúa con el uso de energía fósil que es un recurso insostenible. Lo anterior ha generado vigorosos esfuerzos de investigación que enfocan su trabajo al desarrollo de nuevas “energías alternativas”, como los biocombustibles, energía eólica, transformación química del carbón, entre otras. En el campo de los biocombustibles mas específicamente en el Biodiesel, que en su proceso de fabricación actual usa materias primas que se utilizan como fuente alimenticia. Los biocombustibles de segunda generación que vienen de los residuos de la industria agrícola, tienen aun problemas de eficiencia y altos costos de producción. En el actual escenario los biocombustibles de tercera generación, específicamente los derivados de las microalgas son considerados como la nueva energía alternativa del futuro. Las microalgas son microorganismos fotosintéticos con requerimientos simples de crecimiento (luz, CO₂, N, P y K) que producen lípidos, proteínas y carbohidratos en cantidades grandes en periodos de tiempo cortos. Estos productos pueden ser procesados ha biocombustibles o co-productos de mayor valor agregado. Este artículo muestra las tecnologías y procedimientos en la producción de microalgas, enfocadas al cultivo, tecnologías de conversión y extracción de sus aceites.

Palabras claves – microalgas, biodiesel, fotobioreactores.

INTRODUCION

Panorama ambiental y energético

Estudios recientes de evaluación de consumo energético reportan que los combustibles fósiles representan el 88% del consumo de energía primaria, mientras que la energía nuclear y la hidroelectricidad cuenta el 5% y 6% del consumo total de energía primaria, respectivamente. Dado los avances tecnológicos actuales, las reservas potenciales, y aumento de la explotación de las nuevas reservas no convencionales (por ejemplo, para gas natural), es muy probable que los combustibles fósiles seguirán estando disponibles a bajo costo durante un período de tiempo. Por desgracia, la amenaza potencial del cambio climático global ha aumentado, y por una mayor parte, esto se ha atribuido a las emisiones de gases de efecto invernadero del uso de combustibles fósiles. El cambio





climático asociado proyecciones podrían tener graves consecuencias para la naturaleza, así como los sistemas de vida humana, lo que crea incertidumbre sobre la sostenibilidad del uso actual de combustibles fósiles, no sólo en relación con la finitud de los recursos, sino también sobre los efectos negativos de las emisiones de CO₂. Los combustibles fósiles son el mayor contribuyente de gases de efecto invernadero (GEI) a la biosfera, y en 2006 las emisiones de CO₂ asociadas fueron de 29 Gtonnes. Se estima que los procesos naturales consumen sólo 12 Gtonnes, por lo tanto, las estrategias de mitigación compatibles se requieren para neutralizar el exceso de CO₂. La consecuencia general es por tanto una necesidad de mejora de la estrategias globales para la seguridad energética y mitigación de las emisiones de CO₂, para lo cual las estrategias más destacadas incluyen: una mayor eficiencia energética (es decir, la disminución del uso de energía por unidad de producto, proceso o servicio), el uso cada vez menor de energía fósil y un mayor uso de energías renovables energía (es decir, el desarrollo de los recursos energéticos de CO₂-neutral).

Biocombustibles

En los últimos años, el uso de biocombustibles líquidos en el sector del transporte ha mostrado un rápido crecimiento mundial, impulsado principalmente por las políticas orientadas en el logro de la seguridad energética y la mitigación de gases de efecto invernadero las emisiones. Los biocombustibles de primera generación, han alcanzado niveles económicos de producción algo estables, estos se han extraído principalmente de los alimentos y cultivos oleaginosos como el aceite de colza, el aceite crudo de palma, higuerilla, caña de azúcar, remolacha azucarera, y el maíz, así como los aceites vegetales y grasas animales utilizando la tecnología convencional. Se proyecta que el crecimiento en producción y consumo de biocombustibles líquidos continuará, pero sus impactos en el cumplimiento de las demandas de energía global en el sector del transporte seguirá siendo limitada. Y se debe a que influyen en el precio de los alimentos y el uso de suelos. En el caso particular del Biodiesel la discusión se centra en los impactos negativos generados sobre los bosques primarios, secundarios y aun terciarios; afectando la biodiversidad y el costo del aceite vegetal comestible

El advenimiento de la biocarburantes de segunda generación es la intención de producir combustibles a partir de la materia de la planta entera de los cultivos energéticos o agrícolas residuos, los residuos de la explotación forestal o de tratamiento de residuos de madera, en lugar de partir de cultivos alimentarios. Sin embargo, la tecnología para de conversión en su mayor parte no ha llegado a las escalas para explotación comercial que hasta ahora ha inhibido cualquier significativas la explotación.





Las microalgas contribuyen con un proceso económico y de productos de alta calidad con la ayuda del medio ambiente y se denominan biocombustibles de tercera generación debido a que no influyen o no se cuestionan por todas sus características.

METODOLOGIA

A continuación se presenta una serie de actividades que llegarán a obtener los resultados propuestos en el proyecto, la metodología se fundamenta primero en una selección de cepas a nivel nacional e internacional con el apoyo de NREL, Petrobras, Univalle, UNALMED, UDEA, en esta actividad se tiene planeado hacer visitas y capacitaciones a nivel internacional, a Universidades y Plantas en operación.

Del resultado de las visitas se escogerán tres de las mejores cepas, y serán aquellas que despierten el mayor interés las cepas de micro algas que presenten una composición interna con mayores niveles de aceite, la disponibilidad de sus cepas, el uso en empresas a nivel mundial que las utilizan, el bajo precio de adquisición, el mayor porcentaje de crecimiento en menor tiempo. Por otro lado se aislará e identificará dos especies nativas tanto de agua dulce como de la costa del pacífico nariñense con el apoyo de la Armada Nacional de Colombia, valorando los anteriores parámetros.

Se realizará la inoculación de cepas y el encuentro de sus condiciones de crecimiento y el respectivo análisis de las variables de diseño.

Una vez se obtenga los parámetros de diseño se realizará la ingeniería del prototipo, su construcción y su montaje; después se iniciará operaciones para una correcta estandarización y ajuste, posteriormente se valorará cantidades obtenidas, con sus respectivas caracterizaciones fisicoquímicas de los productos y subproductos obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Técnicas de producción de biomasa de microalgas

Los sistemas de producción se dividen en dos grupos abiertos y cerrados. El cultivo de microalgas se puede hacer en sistemas abiertos, tales como lagos o estanques y en sistemas cerrados llamados foto-biorreactores (PBR). Un biorreactor se define como un sistema en el que se logra una conversión biológica. Así, una foto-biorreactor es un reactor en el que fototrofos (microbios, algas o





células de las plantas) se cultiva o se utiliza para llevar a cabo una foto-reacción biológica. Si bien esta definición puede aplicarse tanto a sistemas cerrados y abiertos, propósito de este artículo, es limitar la definición a los anteriores.

Los sistemas de cultivo abiertos son normalmente menos caros de construir y operar, además duran más que los reactores cerrados, pero utilizan extensiones de tierras muy grandes. Sin embargo, los estanques son más susceptibles a las condiciones climáticas, teniendo una variabilidad muy grande de temperatura en el agua, la evaporación y la iluminación.

Los sistemas cerrados (fotobioreactores) son sistemas flexibles que pueden ser optimizados de acuerdo a las características biológicas y fisiológicas de las especies de microalgas que se cultivan, permitiendo el cultivo de especies de algas que no se puede cultivar en estanques abiertos. Se facilita, el intercambio directo de gases y contaminantes (por ejemplo, microorganismos, polvo) entre las células cultivadas y el ambiente son limitados o no permitidos por las paredes del reactor. Además, una gran proporción de la luz incide directamente en la superficie del cultivo.

Dependiendo de su forma o diseño, los sistemas cerrados tienen varias ventajas sobre los estanques abiertos: ofrecen un mejor control sobre las condiciones de cultivo y los parámetros de crecimiento de pH, temperatura, mezcla, CO₂ y O₂, evitan la evaporación, se reduce las pérdidas de CO₂, permiten alcanzar mayores densidades de microalgas o las concentraciones de células, hay mayor productividad en volumen, ofrecen un entorno más seguro y protegido, evitan la contaminación o reducen al mínimo la invasión de microorganismos competidores.

La tabla 1 hace una comparación entre los sistemas de cultivo abiertos y cerrados, muestra ventajas y desventajas.

Métodos de cosecha

La elección de la técnica de cosecha depende de las características de las microalgas, por ejemplo, tamaño, densidad, y el valor de los productos de destino [Olaizola, 2003]. En general, la recolección de microalgas es un proceso de dos fases, que incluirán:

(1) la recolección masiva, destinada a la separación de la biomasa del agua. Esto dependerá de la concentración de biomasa inicial y las tecnologías empleadas, incluidos los floculación, sedimentación por gravedad o flotación.





(2) Espesamiento el objetivo es concentrar la mezcla a través de técnicas como la centrifugación, filtrado y agregación de ultrasonidos, por lo tanto, generalmente son procesos de alto costo energético

Floculación

Esta es la primera etapa en el proceso de recolección masiva donde se agrega un floculante a las células de microalgas con el fin de incrementar el tamaño de partícula. La floculación es un paso preparatorio a otros métodos de cosecha, como la filtración, la flotación o sedimentación por gravedad [Molina et al., 2003]. Los floculantes más comunes son polivalentes, como el cloruro férrico ($FeCl_3$), sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$).

Varios métodos de floculación han sido probados. Knuckey et al. [Knuckey et al., 2006] desarrollaron un proceso que implica el ajuste del pH de entre 10 y 10,6 utilizando NaOH, seguido por la adición de un polímero no iónico. La eficiencia de floculación fue mayor a un 80%, para una amplia gama de especies de algas. DIVAKARAN y Pillai [Divakaran & Pillai, 2002] utilizaron con éxito el quitosano como un bio-floculante. Aunque la eficiencia del método es muy sensible al pH.

Recolección por flotación

Los métodos de flotación se basan en la captura de células de algas utilizando dispersión de micro-burbujas de aire y, por tanto, a diferencia de floculación, no requiere la adición de productos químicos [Wang et al., 2008]. Algunas cepas naturalmente flotan en la superficie del agua con el aumento del contenido en lípidos [Bruton et al., 2009]. A pesar de flotación ha sido mencionado como un método de cosecha potencial, hay evidencia muy limitada de su viabilidad técnica o económica.

Sedimentación por gravedad y centrifugación.

La sedimentación por gravedad depende de características como la densidad y el radio de células de algas y la velocidad de sedimentación (ley de Stokes). La sedimentación por gravedad es la técnica más común para el aprovechamiento de la biomasa de algas en el tratamiento de aguas residuales debido a los grandes volúmenes tratados y a al bajo valor de la biomasa [Nurdogan & Oswald, 1996]. Sin embargo, el método sólo es adecuado para microalgas grandes (tamaño > 70 micras) como la espirulina [Muñoz & Guieysse, 2006].

La recuperación por centrifugación es el preferido para la recolección de metabolitos de alto valor [Heasman et al., 2000]. El proceso es rápido y de gran consumo energético, la recuperación de la biomasa depende de las características de sedimentación de las células, tiempo de residencia y la



solución de fondo [Molina et al., 2003]. Las desventajas de este proceso incluyen los altos costos energéticos y el mantenimiento [Bosma et al., 2003]. La eficiencia de la recolección es superior al 95% [Heasman et al., 2000]

Filtración de biomasa

Un proceso de filtración convencional es el más apropiado para la recolección de microalgas grandes (> 70 micras) como Coelastrum y Spirulina. No se puede utilizar para las especies de algas de dimensiones bacteriana (<30 micras), como Scenedesmus, Dunaliella y Chlorella [Mohn, 1980].

Para la recuperación de algas más pequeñas (<30 micras), la microfiltración de membrana y ultrafiltración son alternativas técnicamente viables a la filtración convencional [Petrusevski et al., 1995]. Es adecuado para células frágiles que requieren baja presión de membrana y baja velocidad de flujo [Borowitzka, 1997].

Extracción y purificación de biomasa de microalgas

Secado o deshidratación

La biomasa cosechada es un producto perecedero y debe tratarse con rapidez después de la cosecha, la deshidratación o secado se suele utilizar para ampliar la viabilidad en función del producto final requerido. Los métodos que han sido utilizados son el secado al sol [Prakash et al., 1997], el secado por aspersión [Desmorieux & Decaen, 2006], tambor de secado [Prakash et al., 1997], en lecho fluido de secado [Leach et al., 1998], liofilización [Molina et al., 1994] entre otras.

El secado al sol es el método más barato, pero las principales desventajas son los largos tiempos de secado, necesidad de grandes superficies, y el riesgo de pérdida de material [Prakash et al., 1997]. El secado por aspersión es comúnmente utilizado para la extracción de productos de alto valor, pero es relativamente caro y puede causar un deterioro significativo de algunos pigmentos de algas [Desmorieux & Decaen, 2006]. La liofilización es igualmente costosa, especialmente para las operaciones a gran escala, pero facilita la extracción de aceites. Los elementos intracelulares, como los aceites son difíciles de extraer de la biomasa húmeda con disolventes sin interrupción de la célula, pero se extraen más fácilmente de la biomasa liofilizada [Molina et al., 2003; Molina et al., 1994].

Extracción y purificación de los biocarburantes

Para la extracción de los biocombustibles, es importante establecer un equilibrio entre la eficiencia de secado y la relación coste-eficacia, a fin de maximizar la producción neta de energía de





los combustibles [Li et al., 2008]. El costo del secado es también una consideración importante en el procesamiento del polvo de la biomasa de microalgas para la alimentación humana y animal de la industria [Li et al., 2008]. La temperatura de secado durante la extracción de lípidos afecta tanto a la composición de los lípidos y el rendimiento de los lípidos de la biomasa de algas [Widjaja et al., 2009]. Por ejemplo, el secado a 60 ° C conserva una alta concentración de TAG en los lípidos y sólo disminuye ligeramente el rendimiento de los lípidos, con temperaturas más altas, tanto disminuyendo la concentración de TAG y el rendimiento de los lípidos [Widjaja et al., 2009]. OriginOil (una empresa de biocombustibles en los Angeles) ha desarrollado un proceso de extracción de humedad que combina el ultrasonido y la inducción de impulsos electromagnéticos para romper las paredes celulares de las algas. El dióxido de carbono se agrega a la solución de algas, lo que reduce el pH, y separa la biomasa del aceite [Heger, 2009].

CONCLUSIONES

Las Microalgas son organismos unicelulares fotosintéticos de estructura simple alimentados por CO₂ y algunos nutrientes, las ventajas de la utilización de biocombustibles derivados de microalgas son:

Las microalgas son capaces de producir durante todo el año, por lo tanto, la productividad de aceite de cultivos de microalgas supera el rendimiento de los mejores cultivos de semillas oleaginosas, por ejemplo rendimiento de biodiesel de 12.000gal por 1 hectáreas de microalgas (estanque abierto producción) en comparación con 1350 gal de biodiesel por 1 hectáreas Aceite crudo de palma.

Pueden crecer en medios acuosos, pero necesitan menos agua que los cultivos terrestres por lo tanto reduciendo la carga sobre las fuentes de agua dulce.

Las microalgas pueden cultivarse en agua salobre y por lo tanto no podrán incurrir en el cambio del uso del suelo, reduciendo al mínimo los impactos ambientales asociados, si bien no comprometer la producción de alimentos, forraje y otros productos derivados de cultivos.

Las microalgas crecen rápidamente y todas las especies producen aceites en el rango de 20-50% del peso seco de la biomasa, las tasas de crecimiento exponencial puede duplicar su biomasa en períodos tan cortos como 3,5 h [20-22].

Su fuente de alimentación es el CO₂, por 1 kg de biomasa de algas secas utilizar acerca de 1,83 kg de CO₂





Los nutrientes para el cultivo de microalgas (Especialmente nitrógeno y fósforo) pueden obtenerse en aguas residuales, por lo tanto, además de proporcionar un medio de crecimiento, existe la posibilidad de doble para el tratamiento de efluentes orgánicos de la industria agroalimentaria

El cultivo de microalgas no requiere aplicación de herbicidas o pesticidas, la extracción de petróleo, que pueden ser utilizados como piensos o abonos o fermentadas para producir etanol o el metano.

La composición bioquímica de la biomasa de microalgas se puede modular variando condiciones de crecimiento, por lo tanto, el rendimiento de aceite puede ser significativamente mayor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. WIDJAJA, C.-C. CHIEN AND Y.-H. JU, Study of increasing lipid production from fresh water microalgae *Chlorella vulgaris*, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 40 (1) (2009), pp. 13–20.
- B. PETRUSEVSKI, G. BOLIER, A.N. VAN BREEMEN AND G.J. ALAERTS, Tangential flow filtration: a method to concentrate freshwater algae, *Water Research* 29 (5) (1995), pp. 1419–1424.
- BENEMANN JR, VAN OLST JC, MASSINGILL MJ, WEISSMAN JC, BRUNE DE. The controlled eutrophication process: using microalgae for CO₂ utilization and agricultural fertilizer recycling. In: Gale J, Kaya Y, editors. *Greenhouse gas control technologies—6th international conference*. Oxford: Pergamon; 2003. p. 1433–8.
- BILANOVIC D, ANDARGATCHEW A, KROEGER T, SHELEF G. Freshwater and marine microalgae sequestering of CO₂ at different C and N concentrations—response surfacemethodology analysis. *Energy Conversion and Management* 2009;50(2): 262–7.
- E. MOLINA GRIMA, A. MEDINA, A. GIMÉNEZ, J. SÁNCHEZ PÉREZ, F. CAMACHO AND J. GARCÍA SÁNCHEZ, Comparison between extraction of lipids and fatty acids from microalgal biomass, *Journal of the American Oil Chemists' Society* 71 (9) (1994), pp. 955–959.
- E. MOLINA GRIMA, E.H. BELARBI, F.G. ACIÉN FERNÁNDEZ, A. ROBLES MEDINA AND Y. CHISTI, Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics, *Biotechnology Advances* 20 (7–8) (2003), pp. 491–515.
- F.H. MOHN, Experiences and strategies in the recovery of biomass in mass culture of microalgae. In: G. Shelef and C.J. Soeder, Editors, *Algal biomass*, Elsevier, Amsterdam (1980), pp. 547–571.
- G. LEACH, G. OLIVEIRA AND R. MORAIS, Spray-drying of *Dunaliella salina* to produce a β-carotene rich powder, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 20 (2) (1998), pp. 82–85.
- GUDIN C, THERPENIER C. Bioconversion of solar energy into organic chemicals by microalgae. *Advances in Biotechnological Processes* 1986; 6:73–110.
- H. DESMORIEUX AND N. DECAEN, Convective drying of spirulina in thin layer, *Journal of Food Engineering* 66 (4) (2006), pp. 497–503.



HEGER M. A new processing scheme for algae biofuels. *Technology review*, Available from: <http://www.technologyreview.com/energy/22572/>; 2009 [cited 21.05.09].

J. PRAKASH, B. PUSHPARAJ, P. CARLOZZI, G. TORZILLO, E. MONTAINI AND R. MATERASSI, Microalgae drying by a simple solar device, *International Journal of Solar Energy* 18 (4) (1997), pp. 303–311.

KADAM KL. Power plant flue gas as a source of CO₂ for microalgae cultivation: economic impact of different process options. *Energy Conversion and Management* 1997; 38(Suppl. 1): S505–10.

LI Y, HORSMAN M, WU N, LAN C, DUBOIS-CALERO N. Biofuels from microalgae. *Biotechnology Progress* 2008; 24 (4): 815–20.

LI Y, HORSMAN M, WU N, LAN C, DUBOIS-CALERO N. Biofuels from microalgae. *Biotechnology Progress* 2008; 24 (4): 815–20.

M. BOROWITZKA, Microalgae for aquaculture: opportunities and constraints, *Journal of Applied Phycology* 9 (5) (1997), pp. 393–401.

M. HEASMAN, J. DIEMAR, W. O'CONNOR, T. SUSHAMES AND L. FOULKES, Development of extended shelf-life microalgae concentrate diets harvested by centrifugation for bivalve molluscs—a summary, *Aquaculture Research* 31 (8–9) (2000), pp. 637–659.

M. OLAIZOLA, Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace, *Biomolecular Engineering* 20 (4–6) (2003), pp. 459–466.

R. BOSMA, W.A. VAN SPRONSEN, J. TRAMPER AND R.H. WIJFFELS, Ultrasound, a new separation technique to harvest microalgae, *Journal of Applied Phycology* 15 (2) (2003), pp. 143–153.

R. DIVAKARAN AND V.N.S. PILLAI, Flocculation of algae using chitosan, *Journal of Applied Phycology* 14 (5) (2002), pp. 419–422.

R. MUÑOZ AND B. GUIEYSSE, Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review, *Water Research* 40 (15) (2006), pp. 2799–2815.

R.M. KNUCKEY, M.R. BROWN, R. ROBERT AND D.M.F. FRAMPTON, Production of microalgal concentrates by flocculation and their assessment as aquaculture feeds, *Aquacultural Engineering* 35 (3) (2006), pp. 300–313.

REITH JH, VAN ZESSEN E, VAN DER DRIFT A, DEN UIL H, SNEIDER E, BALKE J, ET AL. Microalgal mass cultures for co-production of fine chemicals and biofuels and water purification. In: CODON symposium on marine biotechnology: an ocean full of prospects?; 2004. p. 16.

STEPAN DJ, SHOCKEY RE, MOE TA, DORN R. Carbon dioxide sequestering using microalgae systems. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Energy; 2002.

T. BRUTON, H. LYONS, Y. LERAT, M. STANLEY AND M.B. RASMUSSEN, A review of the potential of marine algae as a source of biofuel in Ireland, *Sustainable Energy Ireland*, Dublin (2009) p. 88.

WANG B, LI Y, WU N AND LAN C. CO₂ bio-mitigation using microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2008; 79 (5): 707–18.

Y. NURDOGAN AND W.J. OSWALD, Tube settling rate of high-rate pond algae, *Water Science Technology* 33 (1996), pp. 229–241.

