

Desarrollo tecnológico prototipo para la producción de biodiesel a partir de microalgas en sistemas cerrados, como biocombustible de segunda generación

Cesar A. Estrada, Yanaika C. Noguera, Jorge E. Lopez
Universidad del Valle, Cali, Colombia, cesare489@hotmail.com

RESUMEN

La investigación se orientó en crear, montar, validar y ajustar la tecnología necesaria para llevar a cabo el proceso de obtener biodiesel a partir de microalgas en sistemas cerrados, el cual responde al establecimiento y diseño de un proceso productivo, que liga además una oportunidad sostenible en regiones alejadas con dificultades sociales, ambientales y energéticas. El proyecto sigue una secuencia lógica dada por la experiencia desarrollada en investigaciones previas; es importante resaltar que se trata de un proceso innovador dentro de la cadena de biocombustibles, a nivel Colombia, y Latinoamérica ya que orienta su estudio en biocombustibles de segunda generación.

La nueva tecnología tiene cuatro componentes básicos: la producción de biomasa (crecimiento de microalgas en sistemas cerrados), la extracción del aceite, la refinación y la transesterificación.

La investigación muestra las diferentes microalgas existentes, donde se realizan los respectivos análisis del efecto de la temperatura, luminosidad y cantidad de nutrientes sobre las microalgas seleccionadas, en sistemas cerrados. Inicialmente, a nivel laboratorio y por último se validó a mediana escala, la producción de biomasa, la extracción de aceite y su transformación a biodiesel. Determinando por último el aspecto económico y ambiental de todo el proceso de producción.

Palabras claves: Microalgas, Biodiesel, fotoreactores, transesterificación

1. Objetivo general

“Desarrollar la tecnología y el análisis económico de un sistema cerrado prototipo para la producción de biodiesel a partir de microalgas, en la Costa del Pacífico Nariñense, valorando su factibilidad y su sostenibilidad ambiental y social.”

2. Objetivos específicos

- Identificar las mejores cepas de microalgas, que contribuyan a generar grandes cantidades de biomasa y su transformación en aceite, en sistemas cerrados
- Establecer las condiciones óptimas del hábitat, para el crecimiento de cepas de microalgas, valorando condiciones de diseño y de operación como lo son: temperatura, presión, flujos, agitación, tiempo de residencia, luminosidad y cantidad de nutrientes, en laboratorio
- Determinar la cepa con mayor capacidad de crecimiento en biomasa, en menor tiempo y con el porcentaje más alto de extracción de aceite, en sistemas cerrados

- Integrar los procesos de transformación, que son la producción de biomasa (crecimiento de microalgas en sistemas cerrados), la extracción del aceite, la refinación y la trans esterificación, en un software de simulación de procesos
- Lograr la generación de Biomasa, extracción de aceite, refinación y producción de biodiesel Ajustar y estandarizar la capacidad técnica y productiva real de la tecnología desarrollada en la obtención de biodiesel a partir de microalgas, evaluando ciclos mensuales de operación, a través de análisis estadísticos e industriales de la información recolectada durante estos períodos.
- Operar un motor con ciclo termodinámico Diesel-Otto con biodiesel100 obtenido del prototipo

3. Descripción de nuestro proyecto

Las micro algas son fábricas celulares conducidas por la luz solar, que convierten dióxido de carbono en biocombustibles potenciales, alimento o compuestos bioactivos de alto valor. Estas algas comprenden un vasto grupo de organismos fotosintéticos, heterótrofos, los cuales tienen un excelente potencial como cultivos energéticos.

El biodiesel de microalgas obtenidos en sistemas cerrados tiene grandes ventajas comparativas frente a otros biodiesel obtenido con otros aceites, básicamente hay que tener en cuenta la mayor producción por hectárea de aceite. Mientras que la palma produce casi 6 toneladas año teniendo en cuenta que alcanza esa producción a partir del séptimo año la misma hectárea de microalgas produce 100 a 180 toneladas en ese mismo periodo y desde el primer año.

Como el aceite de algas no es un aceite comestible y su producción no requiere terrenos fértiles, no se estaría vulnerando la seguridad alimentaria y tampoco se talarían bosques para utilizar la tierra fértil, esto abriría mercados en algunos países europeos que critican el aceite de palma por estos motivos.

En cuanto a la calidad del aceite para producir biodiesel el de algas es un aceite con mínimos contenidos de azufre ayudando aun mas al reducir la contaminación producida a diferencia del aceite de palma que contiene niveles mas elevados.

Se menciona el aporte que hace (Atheortua L, UDEA-2009) con respecto a la tecnología, la cual subraya como los sistemas cerrados y en especial los foto bioreactores tienen 13 veces mayor capacidad de producción que en los sistemas abiertos, además hace referencia sobre las ventajas de los foto bio reactores y son las siguientes:

- **Alta recuperación de la biomasa**
- **Los costos de recuperación son menores dentro del proceso total, debido a la alta concentración de la biomasa**
- **El área total requerida para una foto bioreactor es mucho menor que el de los sistemas abiertos.**
- **Pueden ser instalados en casi todo el país, sin ocupar una gran cantidad de área.**

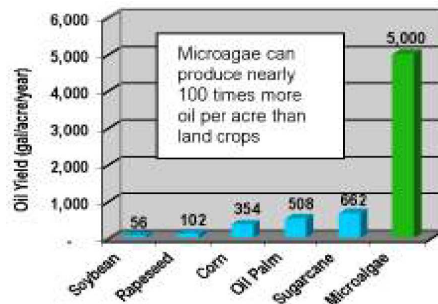


Fig 1. Extracción de aceite de algas

En la figura No. 1 se muestra como la extracción de aceite de algas es mayor que para la mayoría de oleaginosas utilizadas en el mundo por unidad de hectárea estudio elevando el inmenso potencial de estudiar este tipo de microorganismos para evaluar su potencial en la producción de biocombustibles.

Las microalgas pueden proveer diferentes tipos de combustibles renovables como metano, biodiesel y bio hidrógeno, también pueden crecer en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, agua fresca hasta altamente salina, tierras negras hasta las arenas del desierto o haciendo parte de los corales. Dependiendo de estas condiciones ambientales producen diferentes tipos de subproductos como grasas, aceite, azúcares y compuestos bioactivos funcionales. Son consideradas de especial interés para el desarrollo futuro de producción de energía.

Las variedades de micro algas son fácilmente estudiadas en condiciones de laboratorio y permiten desarrollar la investigación en tiempos sensiblemente menores a los necesarios con plantas oleaginosas. Pueden crecer en sistemas abiertos como estanques, lagos o en sistemas cerrados similares a los de fermentación, donde las condiciones climáticas pueden ser ajustadas y controladas para alcanzar óptima calidad y desarrollo. Estos sistemas utilizan foto bioreactores para cultivos fototróficos o fermentadores convencionales para crecimiento heterotrófico.

En la Fig. 1. Se muestra el potencial que tienen algunas cepas sobre otras y como este potencial puede ser optimizado por medio del manejo de variables de proceso y condiciones de operación en todas las etapas del mismo.

Tabla 1. Cepas y su % de extracción

Grupo taxonómico de microalgas	Contenido de aceite (% en peso seco)
• <i>Botryococcus braunii</i>	25-75 %
• <i>Chlorella sp.</i>	28-32 %
• <i>Nannochloris sp.</i>	20-35 %
• <i>Nannochloropsis sp.</i>	31-68 %
• <i>Neochloris oleabundans</i>	35-54 %
• <i>Nitzschia sp</i>	45-47 %
• <i>Schizochytrium sp.</i>	50-77 %

Fuente: Chisti, 2007

La producción de energía a partir de las algas emplea dos aproximaciones dependiendo del tipo de organismo utilizado y de los hidrocarburos que ellos producen. La primera se refiere a la conversión biológica de nutrientes en lípidos o hidrocarburos y la segunda a la licuefacción termoquímica de biomasa algal en hidrocarburos usables. Los lípidos e hidrocarburos producidos se pueden encontrar en la masa celular del alga.

Estos productos se almacenan en el citoplasma o como componentes funcionales de la membrana. En algunos casos estos productos son excretados extracelularmente como glóbulos oleaginosos. En ciertos casos la composición de lípidos puede ser regulada a través de la adición o restricción de ciertos componentes de la dieta, tales como agotamiento del nitrógeno o la silicón u otro tipo de estrés también puede conducir al incremento de la producción total de lípidos.

El tipo y nivel de hidrocarburos producido es afectado por las condiciones ambientales como la luz, la temperatura, la concentración iónica, el pH. La cantidad o niveles de lípidos que se pueden encontrar varía entre el 20 al 55% de lípidos en base seca, aunque se han encontrado niveles superiores al 90% en especies como el *Botryococcus*

La producción de biodiesel con aceite de microalgas, producto de sistemas cerrados es más económico que cualquier otra producción debido a los altos rendimientos del microorganismo para reproducirse y acumular aceites. En las tablas 3 y el gráfico 2 se muestran el estudio comparativo del rendimiento con otros aceites y un gráfico de rendimiento respectivamente.

El crecimiento fotosintético de las algas requiere luz, dióxido de carbono, agua y sales inorgánicas, entre ellas K, P, Ca. La temperatura suele estar entre los 20 a 30 °C y para reducir costos en la producción de biodiesel se debe aprovechar la luz solar, a pesar de las variaciones que presenta. Se debe proveer de los elementos esenciales que incluyan fósforo, nitrógeno, hierro y silicón en algunos casos. Dado que los fosfatos forman complejos con iones metálicos, deben ser agregados en exceso, para asegurar que el cultivo tendrá fósforo biodisponible.

El agua de mar suplementada con micro nutrientes es usada comúnmente para el crecimiento de microalgas marinas. Los medios de crecimiento son generalmente económicos. La fuente de carbón es generalmente dióxido de carbono y debe ser suministrado continuamente durante el día. La cantidad requerida es de 180 toneladas por cada 100 toneladas de alga producida. De otra parte la intensidad lumínica juega un papel importante. La saturación de luz es caracterizada por una constante de saturación que es la intensidad de la luz a la cual la biomasa crece a la mitad de su máxima tasa posible.

Estas constantes de cada alga tienden a ser mucho más bajas que el máximo nivel de luz solar que hay al medio día. Por ejemplo para la *Phaeodactylum tricornutum* y *Porphyridium cruentum* estas constantes son 185 E m² s⁻¹ y 200 E m² s⁻¹, que son mínimas comparadas con los 2000 E m² s⁻¹ que corresponde a la intensidad lumínica al medio día en la región ecuatorial. Por encima de ciertos valores la luz puede ser inhibitoria del crecimiento de las algas. En sistemas comerciales donde los volúmenes de los fotoreactores son grandes se precisa de agitación para asegurar la uniformidad en la intensidad lumínica recibida por las algas. Dado que en el sistema se genera una zona oscura hacia el interior del sistema y una más iluminada hacia la periferia, es necesario agitar, creando intercambio entre estas fases. Este intercambio entre las regiones oscuras e iluminadas se conoce como ciclo y para los grandes foto reactores es una de las variables más importantes, pues a mayor número de ciclos mayor turbulencia y riesgo de que las algas sufran daños irreversibles. Mientras que a baja intensidad de agitación el rendimiento sería muy bajo. En cuanto a la extracción del aceite puede hacerse por licuefacción termoquímica, por extracción con solvente, o la combinación de estos dos; siendo la extracción por solvente el más sencillo. El primer método requiere de alta temperatura y presión para hacer del alga un compuesto oleoso, con una producción de un 30-40% de aceite pesado o hasta 50% en la hidrogenación catalítica a mucha más alta presión y temperatura. Para la transformación de los aceites en biodiesel existen diferentes métodos, siendo la pirólisis, la emulsificación y la transesterificación los más comunes.

Este proyecto se propone hacer ensayos en un motor, con ciclo termodinámico de compresión DIESEL-OTTO, con el objetivo de analizar el desempeño del biodiesel utilizado a partir de microalgas y sus mezclas con diesel convencional. Se busca recomendar cual sería la mezcla que no presenta problemas de flujo para la temperatura extrema a una altura dada (a 3100msnm en Túquerres, Nariño), la cual tiene un promedio de 5 °C.

4. Metodología

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 aislara e identificará dos especies nativas tanto de agua dulce como de la costa del pacifico nariñense con el apoyo de la Armada Nacional de Colombia, valorando los anteriores parámetros.

En seguida se adecuará el laboratorio para la inoculación de cepas y el encuentro de sus condiciones de crecimiento y el respectivo análisis de las variables de diseño. En paralelo se comprará los equipos, reactivos y elementos necesarios para dotar el laboratorio.

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 físicoquímicas de los productos y subproductos obtenidos. Se realizará el informe de la viabilidad del proyecto y además se harán pruebas con el biodiesel obtenido en lugares que van desde 0 msnm. hasta 3100 msnm.

Actividades

1. Revisión bibliográfica e identificación de cepas
2. Selección de cepas con apoyo científico externo-Viajes y capacitaciones internacionales
3. Adecuación civil de laboratorio y de prototipo
4. Montaje de foto bioreactores en laboratorio
5. Compra de equipos contemplados en el presupuesto
6. Adquisición de materias primas, reactivos
7. Ensayos a nivel laboratorio propuestos en el proyecto
8. Condiciones de operación en la producción de biomasa a nivel laboratorio
9. Análisis del aceite obtenido y su biodiesel según norma
10. Ingeniería del prototipo
11. Construcción del prototipo
12. Montaje del prototipo
13. Puesta a punto del prototipo para la producción de biodiesel a partir de microalgas y sus ensayos propuestos en el proyecto
14. Caracterización del aceite y biodiesel obtenidos de microalgas en sistemas cerrados
15. Pruebas en motor en lugares a diferentes alturas sobre el nivel del mar
16. Realización informes de avance y final

Transferencia tecnológica de información a los entes involucrados

5. Resultados

La selección de las mejores cepas en la producción de aceite, debidamente seleccionadas e identificadas de las cuales 3 serán algunas ya trabajadas a nivel mundial y que actualmente se utilicen en plantas de producción de

biocombustibles y 2 especies nativas tanto de agua dulce como de mar, se identificará la producción de biomasa, la caracterización de sus aceites y su transformación a biodiesel.

Artículo sobre las características y condiciones de crecimiento de las cepas analizadas

Un laboratorio donde se investigará y se determinará las variables, parámetros y condiciones de crecimiento y operación en la producción de microalgas en sistemas cerrados

Un procedimiento de Ingeniería y desarrollo de los parámetros de diseño del prototipo, el que permitirá construir y montar el mismo.

El Inicio, ajuste y operación del prototipo, permitirá obtener el aceite proveniente de las microalgas, su torta y el biodiesel como último producto con los respectivos subproductos.

Resultados de los análisis fisicoquímicos del aceite, biodiesel y biomasa residual obtenido del proceso.

El informe de factibilidad del proyecto y los respectivos planos de replicabilidad.

Transferencia de conocimiento a la comunidad en general, energética y científica del país

1 Tesis de Maestría Aprobada

2 Trabajos de Grado Aprobados

Ponencias en eventos

Los procedimientos que se emplearán durante el proyecto usan materiales y reactivos que no son considerados tóxicos para el ambiente. Los aceites obtenidos son biodegradables y su manejo no representa ningún riesgo para la salud. Los alcoholes que se emplearán no presentan una alta toxicidad y la cantidad residual después de la reacción no será arrojada al ambiente sino que será recuperada mediante destilación para recircularlos, esto además mejora la economía del proceso. Los catalizadores empleados (NaOH y KOH) serán removidos del producto mediante neutralización y lavado, formando sales que no son tóxicas (NaCl y KCl); se debe anotar que como la cantidad de catalizador es muy baja, la formación de estas sales será también baja. En lo que respecta a la glicerina, la cual es un coproducto del proceso de obtención de biodiesel, será neutralizada y utilizada en la producción de jabón para uso en los laboratorios de las universidades.

Por otro lado, los resultados que se esperan lograr en el proyecto tendrán consecuencias muy positivas para el ambiente, pues el uso de biodiesel mitiga el daño ambiental causado por la combustión de diesel de petróleo por las siguientes razones:

- Es un producto renovable, por lo que su producción no implica el agotamiento de un recurso natural, tal como es el caso de los combustibles fósiles.
- Su proceso de producción primaria y elaboración industrial determina un balance de carbono menos contaminante que los combustibles fósiles. En términos globales, la combustión de biodiesel no produce una emisión neta del gas de invernadero CO₂, puesto que el liberado es exactamente el que la planta, es este caso las microalgas.
- Cumple con los requisitos de la Environmental Protection Agency (EPA) para los combustibles alternativos.

- No contiene azufre y por ende no genera emanaciones de este elemento en forma de óxidos de azufre (SOx), las cuales junto con los óxidos de nitrógeno (NOx) son responsables de las lluvias ácidas.
- Ofrece una mejor combustión reduciendo el humo visible en el arranque
- Cualquiera de sus mezclas reduce en proporción equivalente a su contenido, las emanaciones de CO₂, CO, partículas e hidrocarburos aromáticos. Dichas reducciones están en el orden del 15% para los hidrocarburos, del 18% para las partículas en suspensión, del 10% para el óxido de carbono y del 45% para el dióxido de carbono. Estos indicadores se mejoran notablemente si se adiciona un catalizador.
- Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles. Volcados al medio ambiente se degradan más rápidamente que los combustibles derivados del petróleo.
- Es menos irritante para la epidermis humana.
- La producción de biocarburantes supone una alternativa de uso del suelo que evita los fenómenos de erosión y desertificación a los que pueden quedar expuestas aquellas tierras agrícolas que, por razones de mercado, están siendo abandonadas por los agricultores.
- Su transporte y almacenamiento resulta más seguro que el de los derivados del petróleo, ya que posee un punto de ignición más elevado. El Biodiesel puro posee un punto de ignición de 148 °C contra los escasos 51 °C del diesel o gasóleo.

El aporte del proyecto en la parte social es elevado debido a que se entregará una tecnología eficiente, a bajo costo, y autosostenible económica y ambiental a las comunidades donde carezcan de abastecimiento energético en Colombia y Latinoamérica; siendo un proyecto de gran impacto en la región brindando una energía alternativa sostenible económica y ambiental.

6. Costos de implementación

El presupuesto asociado al proyecto se fundamenta en los siguientes rubros:

Personal, Capacitación, Servicios técnicos, Materiales y suministros, Gastos de viaje y viáticos, Adecuación infraestructura, Equipos (excluido vehículos), Otros gastos y Administración. El personal asociado al proyecto es de 1 líder, 5 investigadores de apoyo, 2 operarios y 2 profesionales de administración, El monto en especie financiado por las instituciones participantes de USD\$ 95.170

Se tiene programada una capacitación relacionada al manejo de cepas de microalgas en fotobiorreactores en Petrobras y la Universidad de Antioquia. El monto en financiado es de USD\$ 3.190

Unos servicios técnicos de asesoría, caracterizaciones fisicoquímicas e identificación del hábitat de las cepas nativas por parte de la armada nacional de Colombia. El monto en financiado es de USD\$ 3.190

Los materiales y suministros se relacionan con el abastecimiento del laboratorio. El monto en financiado es de USD\$ 16.418

Se tiene previsto un rubro de gastos de viaje y viáticos a NREL, Petrobras y Green Biofuels Technology. El monto en financiado es de USD\$ 9.588

Un mejoramiento y adecuación de infraestructura del laboratorio que actualmente esta montado. El monto en financiado es de USD\$ 18.409

El fuerte del proyecto en el presupuesto se fundamenta en la adquisición de equipos para adecuación del laboratorio y construcción del prototipo, con todas las unidades que integran el prototipo. El monto en financiado es de USD\$ 162.915.

Otros gastos y administración. El monto en financiado es de USD\$ 16.647

Para un monto total financiado es de USD\$228.347

7. Conclusiones

- Se determinará cual de las cepas es la que mejor se adecua a las variables de operación propuestas en el laboratorio
- Se establecerá la valoración de factibilidad económica del prototipo con el objetivo de montar el proceso a un nivel industrial.
- Se constituirá un método de tratamiento de este tipo de microorganismos para estudios en oleaginosas y biocombustibles
- Se identificará las característica de los aceites y del biodiesel obtenido
- Se obtendrá un proceso de simulación en Ingeniera que permita modelar el proceso de producción antes de la construcción del prototipo. l a partir de microalgas en sistemas cerrados a escala industrial

8. Recomendaciones

Ampliación

Uno de los indicadores del proyecto es el número de plantas a nivel industrial que utilicen microalgas como materia prima para obtener biodiesel.

La ampliación se fundamentará en primero un escalamiento del desarrollo tecnológico y otro se basa en la generación del mismo prototipo en varias partes para que este sea dispersado por aquellas zonas donde no existe el abastecimiento energético.

El proyecto tiene como objetivos la transferencia científica y de resultados a la comunidad en general, empresarial y de investigación adherida en las Universidades

Replicabilidad

Uno de los objetivos del proyecto es capacitar, transferir e informar las características del desarrollo tecnológico y dentro de ellos es replicar la tecnología para aquellas regiones a nivel Colombia y Latinoamérica donde se utilice el mismo para un abastecimiento sostenible de energía con un bajo costo.

Se brindará en detalle la ingeniería del proyecto con sus respectivos costos de montaje y procedimientos de operación.

Sostenibilidad

La sostenibilidad del proyecto se fundamenta y se basa en el mercado actual de los combustibles (alto) y se espera de acuerdo a la normatividad de Ministerio que el biodiesel tenga las mismas características y proyecciones, no solo pensando en el consumo interno que está en aumento, sino también en la demanda internacional, generando

la posibilidad de exportar este producto en el futuro.

Es muy importante poder sustituir todo el biodiesel que se pueda ya que aumentarían las reservas de Colombia y ahorraríamos considerables sumas de dinero, solo se calcula que si se hubiese realizado la mezcla B5 en el 2006 Colombia se hubiese ahorrado 500 millones de dólares.

El biodiesel de microalgas obtenidos en sistemas cerrados tiene grandes ventajas comparativas frente a otros biodiesel obtenido con otros aceites, básicamente hay que tener en cuenta la mayor producción por hectárea de aceite. Mientras que la palma produce casi 6 toneladas año teniendo en cuenta que alcanza esa producción a partir del séptimo año la misma hectárea de microalgas produce 100 a 180 toneladas en ese mismo periodo y desde el primer año.

Como el aceite de algas no es un aceite comestible y su producción no requiere terrenos fértiles, no se estaría vulnerando la seguridad alimentaria y tampoco se talarían bosques para utilizar la tierra fértil, esto abriría mercados en algunos países europeos que critican el aceite de palma por estos motivos.

En cuanto a la calidad del aceite para producir biodiesel el de algas es un aceite con mínimos contenidos de azufre ayudando aun mas al reducir la contaminación producida a diferencia del aceite de palma que contiene niveles mas elevados.

Otro factor a nivel ambiental donde las algas están por encima de cualquier cultivo es la fijación de dióxido de carbono ya que estas algas se alimentan principalmente de este gas dañino para el medio ambiente reduciendo aproximadamente 180 toneladas por cada 100 toneladas de algas. Siendo otro factor de ingresos los créditos de carbono que pagan los países firmantes del protocolo de Kyoto a través del banco mundial que están entre 15 y 30 dólares por tonelada reducida.

En cuanto al mercado internacional estados unidos es el principal comprador de biodiesel del mundo en segundo lugar estaría la unión europea, sin embargo el mercado americano seria el nicho para el biodiesel de exportación colombiano por los costos y facilidad de transporte adicionalmente por el mayor precio pagado por el mercado americano que esta subsidiando 90 centavos por galón de biodiesel.

A nivel mundial varias compañías están actualmente produciendo biocarburantes a partir de algas, como lo son GreenFuel Technologies o Algae biofuels en EEUU, BFS en España, Bioking Algae en Holanda y Aquaflow en Nueva Zelanda, sin embargo, la producción de estas plantas es muy pequeña y no son de mucha ayuda en la cobertura de déficit de producción de biodiesel que existe y que se prevé seguirá existiendo en los años venideros. La demanda mundial de biodiesel en este año será de más de 12 millones de toneladas, mientras que la producción de biodiesel se estima que será de aproximadamente 8 millones de toneladas, una diferencia bastante amplia que necesita pronta cobertura.

Bibliografía

- [1] ASTM Standard D 6751 – 03. Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels.
- [2] Srivastava, A.; Prasad, R. Triglycerides – Based Diesel Fuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 4. 111-133. 2000
- [3] Bockey, D.; Korbitz, W. Situation and Development Potential for the Production of Biodiesel - An International Study. 2002.

- [4] Badui, S. Química de los Alimentos. Editorial Person. México. 1999.
- [5] Grabosky, A. K.; McCormick, R. L. Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels in Diesel Engines. Prog. Energy Comb. Sci. Vol. 24. 125-164. 1998.
- [6] Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). La Palma de Aceite un Cultivo Promisorio. Centro de Información. Bogotá D.C. 1999.
- [7] Centro de Investigaciones en Palma de Aceite (Cenipalma). Características de los Principales Productos que Contienen Aceite de Palma, Palmiste y sus Fracciones. Fichas Técnicas. Bogotá D.C. 1998.
- [8] Zapata, P.; Mendoza, R. Obtención de un Biocombustible mediante la Transesterificación del Aceite de Palma con Metanol. Trabajo de Grado. Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2003.
- [9] Quintero, A.; Pacheco, L.; Rodríguez, R. Obtención de Biodiesel por medio de la Transesterificación del Aceite de Palma a Nivel de Laboratorio. Trabajo de Grado. Ingeniería Química. Universidad de América. 2002.
- [10] Agudelo, J. R.; Benjumea, P. Optimización del Proceso de Obtención de Biodiesel de Aceite de Palma. Informe final proyecto de investigación de Conciencias 1115-06-12252. Bogotá D.C. 2003.
- [11] Tinaut, F.; Melgar, A.; Briceño, Y.; Castaño, V. Motor Biofuels: History, Current Status and Future Perspectives. Fisita world Automotive Congress, Paris. 1998.
- [12] Otera, J. Chem. Rev. 1993, 93, 1449.
- [13] Weissermel, K.; Arpe, H. J. In Industrial Organic Chemistry, VCH Verlagsgesellschaft, 2nd Ed., Weinheim, 1993, p 396.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible for either the content or the implications of what is expressed in the paper.