

# **Biodiesel a partir del alga *Ulva lactuca*: Diseño del proceso por método de alcoholólisis**

Autores: Jorge Alejandro Vaamonde Guerrero, Haissam Joseph Karam y Silvia Acuña Dutra  
Universidad Metropolitana

## **RESUMEN**

Sabiendo que las reservas de petróleo en Venezuela son limitadas y que el uso de combustible fósiles genera impactos ambientales negativos, se propone diseñar un sistema productivo de biodiesel partiendo de un vegetal como fuente de materia prima, que además de ser renovable, se encuentra fácilmente en ecosistemas Venezolanos. En el presente trabajo se planteó el proceso de obtención de biodiesel a partir del alga *Ulva Lactuca* mediante el método de alcoholólisis. Se caracterizó el crecimiento de esta alga a nivel laboratorio, analizando las variables: nutrientes minerales, luz y temperatura; y se obtuvo una cinética de crecimiento de orden dos. Se determinó la demanda potencial de biodiesel en Venezuela para los próximos 10 años y se fijó una capacidad de producción de la planta en base al 20% de dicha demanda, obteniendo así una producción de 262.000 barriles diarios. Seguidamente, se utilizó este número como base de cálculo para el balance de masa. Se identificaron los procesos involucrados para la obtención de biodiesel con sus variables operacionales (Extractor, Refinamiento, Reactor, Separador), diseñando así los diagramas de flujo de proceso y layout. Luego, habiendo demostrado la factibilidad técnica de obtener biodiesel a partir de esta alga, se puede concluir que es posible llevar a cabo este proyecto en Venezuela.

**Palabras Claves:** Alga, *Ulva lactuca*, Biodiesel, Alcoholólisis.

# **Biodiesel a partir del alga *Ulva lactuca*: Diseño del proceso por método de alcoholólisis**

Autores: Jorge Alejandro Vaamonde Guerrero, Haissam Joseph Karam y Silvia Acuña  
Universidad Metropolitana

## **RESUMEN EXTENDIDO**

### **INTRODUCCIÓN**

Hoy en día el Biodiesel satisface las necesidades del hombre como fuente de energía, principalmente por la demanda en obtener combustibles, que sirvan de manera eficiente para el desarrollo del transporte y para lo cual a lo largo de los años, se han ido perfeccionando los procesos, de acuerdo a las urgencias y a las mejoras constantes que la ciencia ha permitido realizar. Por otra parte, existe otra necesidad y es la de preservar el ambiente, el entorno natural donde la humanidad se desarrolla y vive. Por ello la producción de Biodiesel, usando un material biodegradable como el alga, es un método muy eficiente para cumplir estas metas.

Es por esto, que surge la oportunidad de desarrollar el proyecto de generación de biodiesel, para adaptarse a las tendencias de conservación ambiental y generación de energías alternativas, utilizando para ello materia prima fácil de conseguir en los ecosistemas marinos venezolanos. Según Parada (2012) "Hoy en día uno de los principales problemas ambientales es la alta emisión de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, debido al consumo de energía proveniente de los hidrocarburos fósiles". Por su parte, Valdeiglesias (2007) indica que otro de los problemas fundamentales del uso del diésel tradicional, es que al extraer petróleo pueden ocurrir accidentes, como derrames que afecten el entorno y generación de emisiones contaminantes. Entonces es importante impulsar desarrollos tecnológicos e industriales que desarrollen productos que satisfagan la necesidad de la sociedad pero que a su vez colabore con alcanzar el desarrollo sustentable.

### **OBJETIVOS**

Esta investigación se centró en dos objetivos básicos, el primero de caracterizar el crecimiento del alga *Ulva lactuca*, con la finalidad de establecer que es una materia prima sustentable y el otro diseñar el proceso de obtención de biodiesel a partir del alga *Ulva lactuca* mediante el método de alcoholólisis.

### **MARCO TEÓRICO**

Para Ríos (2007) la demanda de energías primarias a escala mundial en el año 2005, muestra que el petróleo convencional representa aproximadamente entre el 35% y el 36% del total de la demanda, mientras que el carbón le sigue muy de cerca con alrededor del 24%, el gas natural con aproximadamente del 21% al 22% y el restante 19% corresponde a otros tipos de energías primarias, como la hídrica, nuclear, solar, eólica, térmica, los biocombustibles y otras energías de menor uso.

Según el reporte de biocombustibles Mercados y Tecnologías de Pike Research (2009), se estima que en el 2016 crezca fuertemente la producción de Biodiesel a nivel mundial y que para el año 2021 se proyecta una producción que alcance los 71 billones de galones, lo que demuestra el aumento vertiginoso de la producción de dicho combustible en el mercado mundial.

El Biodiesel es por definición un biocarburante o biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales (Steinberg, 2005). Las algas verdes tienen un importante contenido de lípidos, con frecuencia por encima del 50 % (Christi, 2007). De esta forma, su gran capacidad de aumentar su tamaño poblacional a una elevada velocidad, junto con su alto contenido de lípidos, haría de estas algas fuentes ideales para la producción de Biodiesel.

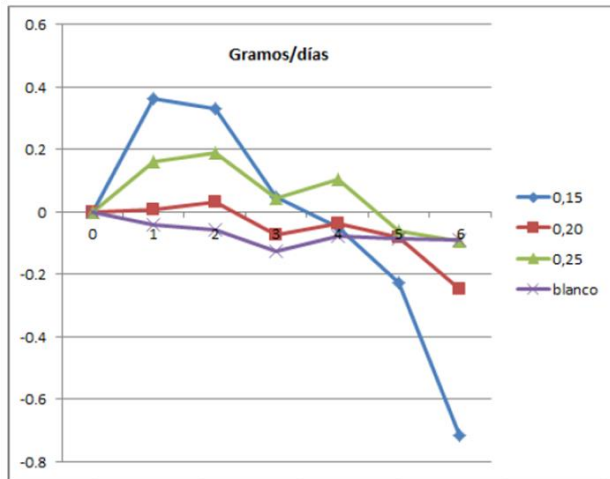
Según Wang y Lan (2011) las algas son generalmente organismos fotoautótrofos, es decir, organismos que obtienen la energía de la luz proveniente del sol y se desarrollan a partir de materia inorgánica. Sin embargo, algunas especies son capaces de crecer empleando la materia orgánica como fuente de energía o carbono. La composición de las algas es variable y puede ser manipulada mediante varios parámetros durante su proceso de cultivo, dependiendo de la especie considerada.

La Alcohólisis consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol para formar alquil ésteres y glicerol. Este método consiste en una serie de reacciones consecutivas reversibles, donde los triacilglicéridos se convierten paso a paso a diglicéridos, monoglicéridos y por último a glicerol, produciendo en cada etapa un mol de alquil éster. Debido a que la reacción es reversible, el exceso de alcohol se utiliza para desplazar el equilibrio hacia el lado de los productos. La reacción puede ser catalizada por álcalis, ácidos o enzimas. La ruptura de los triglicéridos requiere de tres pasos: en el primero, se forma un intermediario tetraédrico, debido al ataque nucleofílico del alcóxido al carbono electrofílico del grupo carbonilo. En el segundo paso, el intermediario se descompone formando un ion diacilglicérido y el éster alquílico de ácido graso. En el último paso se recupera el catalizador por transferencia de un protón. Estos pasos se repiten hasta formar los tres ésteres de ácidos grasos y glicerina (Castellar, Angulo y Cardozo, 2014).

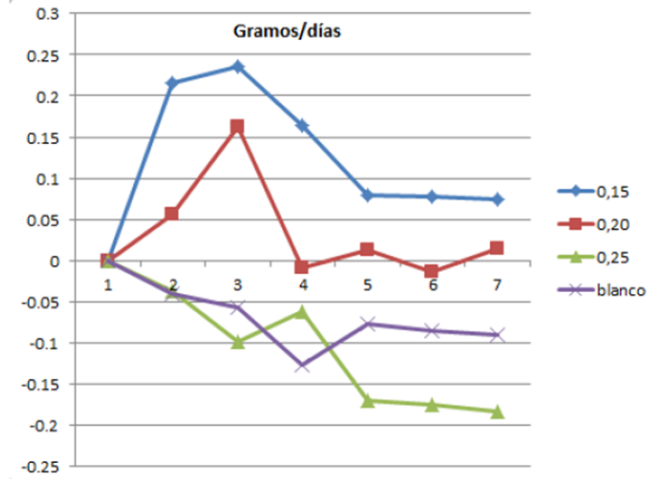
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para analizar el crecimiento de las algas se estudió la influencia de nutrientes minerales, temperatura y luz en la cinética de reproducción. Para el estudio de los nutrientes se consideraron 3 minerales básicos, estos fueron: ácido ortofosfórico, carbonato de calcio y nitrato de potasio. Para cada nutriente se varió la concentración de uno dejando la concentración de los demás fijos. De esta manera se busca estimar la combinación óptima de nutrientes para garantizar el crecimiento del alga. En la Figura 1 se puede detallar cómo varió la masa de algas en el tiempo (7 días de experimentación) en cada concentración de ácido ortofosfórico. En la menor concentración de ácido se observó un incremento vertiginoso de la masa algar, sin embargo a los 3 días, se agotaron los recursos y su crecimiento se estancó, como efecto secundario las algas se desmoronaron y se notó que van perdiendo integridad. En la concentración media no hay un cambio significativo con respecto al aumento de masa algar y para la mayor concentración del ácido se observa un crecimiento constante los primeros días y se prolonga mejor que las demás series. Consecuentemente se procedió a tomar la mayor concentración de ácido ortofosfórico (0,25 g) como constante para los experimentos siguientes.

El comportamiento del nitrato de potasio se puede detallar en la Figura 2. En la menor concentración del nitrato se observa un aumento de masa algar en los primeros días y luego a consecuencia del agotamiento de los recursos alimenticios, va descendiendo el crecimiento, sin embargo, es el comportamiento más favorable para el cultivo de las algas. En la concentración media ocurre un crecimiento los primeros días, pero luego desciende y se sitúa por debajo de la curva representada por la mayor concentración. En la mayor concentración del nitrato ocurre un decrecimiento desde el primer día, que incluso su gráfica se sitúa por debajo de la muestra "blanco". Esto puede guiar a un razonamiento que apunte a deducir que esta concentración de Nitrato de Potasio aumenta la salinidad a tal punto que inhibe el crecimiento de las algas por efecto de sobresalinización. En conclusión, se procedió a tomar la menor concentración de nitrato de potasio (0,15 g) como constante para los experimentos siguientes.

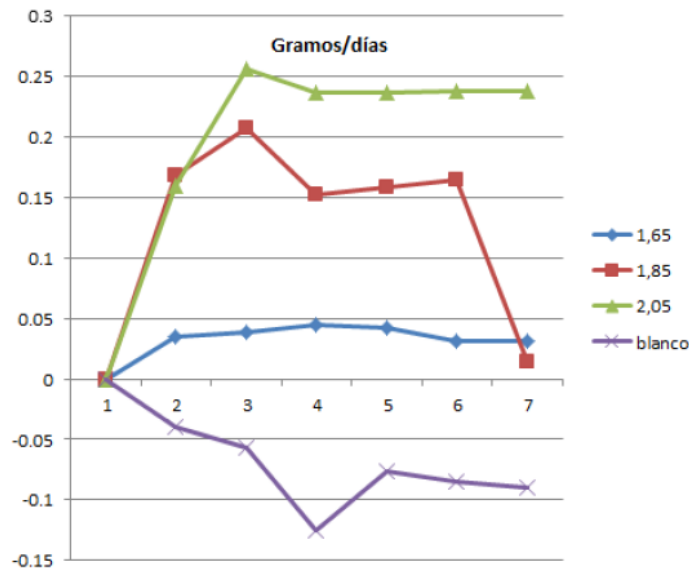


**Figura 1.** Masa de alga variando el ácido ortofosfórico  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 2.** Masa de alga variando el nitrato de potasio  
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3 se detalla el comportamiento del crecimiento del alga con respecto al carbonato de calcio. Al igual que en los casos anteriores se evidenció crecimiento de las algas en todas las concentraciones de carbonato de calcio, siendo en este caso la concentración que mejor arrojó resultados la de 2,05 gr de esta sal.



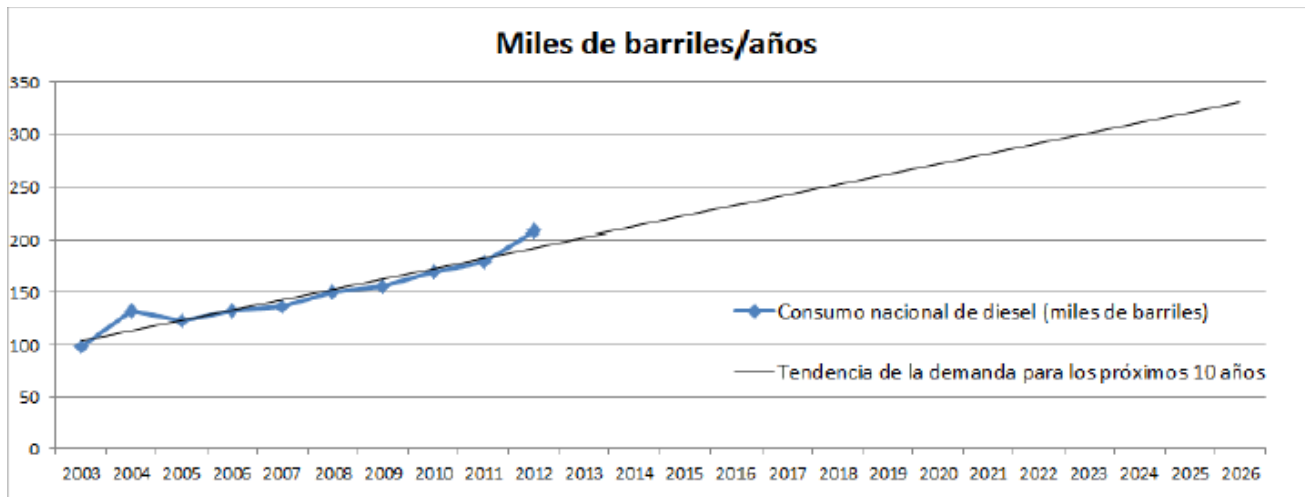
**Figura 3.** Masa de alga variando Carbonato de calcio

Fuente: Elaboración propia

Para la influencia de la temperatura se evaluó el crecimiento del alga analizando las algas a 4°C, 12°C, 25°C y 40°C; en este experimento se evidenció que las dos temperaturas más bajas inhiben el crecimiento de las algas, seguramente como respuesta celular al frío. En cambio para la temperatura

más alta se observó que afecta directamente la vida del alga, acelerando su muerte. Quedó demostrado que la temperatura ambiente del entorno (25°C) es la más favorable para el crecimiento de las algas. Para la luz se estudió el efecto de la luz natural y la artificial; la luz artificial fue más influyente que la luz natural, esto debido a que los lux proporcionados con fuente artificial fueron constantes las 24 horas del día, mientras que la luz natural solo tuvo influencia cerca de 12 horas por día. Concluyendo de esta manera que la velocidad de reacción correspondiente al modelo crecimiento cumple la dinámica de segundo orden.

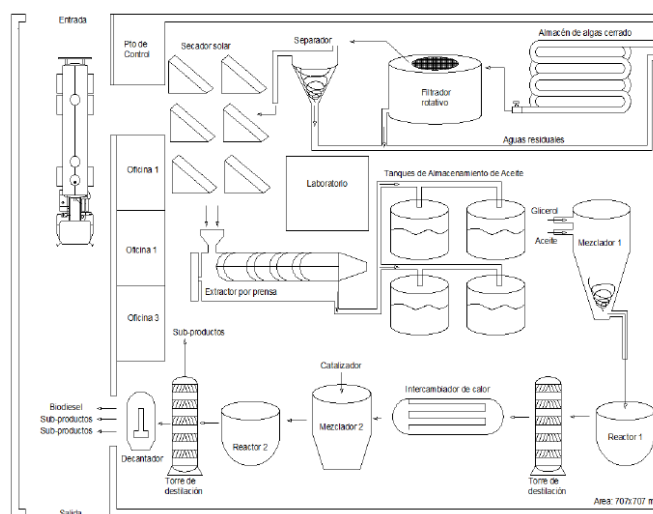
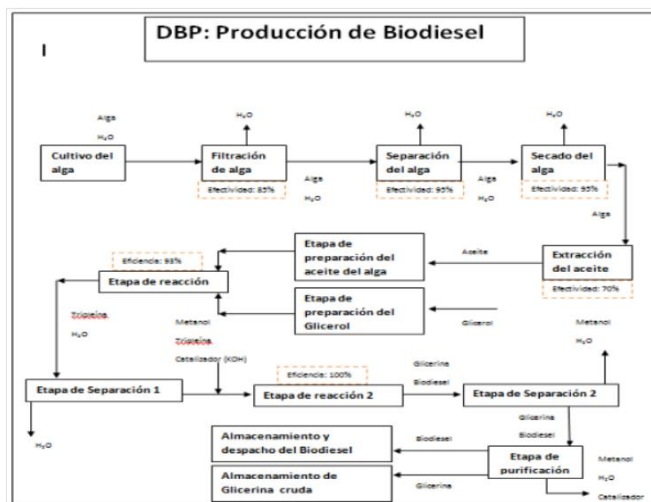
Para el mercado meta, se planteó satisfacer el 20% de la demanda nacional del diesel a un tercio de la vida útil de la planta (10 años), tomando en cuenta el escenario más probable, para en caso de ser necesario, expandir la planta y aumentar la producción. Se procede a calcular la demanda total estimada para mediados del 2019 (3.3 años), extrapolando una línea recta en la gráfica tendencia de la oferta vs tendencia de la demanda mostrada en la Figura 4, con lo que se obtiene una demanda total estimada de 262 mil barriles de diesel por día.



**Figura 4.** Demanda nacional de biodiesel

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de PODE, MENPET (2012).

Partiendo de esta base como capacidad de la planta, se procedió a establecer los procesos neurálgicos del sistema productivo. Para la selección de los equipos es importante tomar en cuenta los rendimientos y eficiencias de los equipos principales como: filtros (85%), separadores (95%) y secadores (95%). Para el diseño de la línea de producción se tomó la actividad de cosecha del alga como parte del proceso, siendo los demás: Extracción del aceite, Refinamiento del aceite, Reacción de esterificación de los ácidos grasos, Reacción de alcoholisis donde se obtiene el Biodiesel junto con la glicerina, Etapa de separación, Etapa de purificación. En la Figura 5 se puede detallar el diagrama de flujo del proceso y en la Figura 6 la distribución propuesta para la planta



**Figura 5.** Flujograma del Proceso de producción de biodiesel

**Figura 6.** Plano propuesta para la planta de biodiesel

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Los nutrientes representan la variable más importante en el crecimiento del alga ya que son limitantes desde un punto de vista de entorno. La temperatura ambiental (a 25 °C) favorece al crecimiento del alga. Se demostró que a mayor cantidad de lux y mayor tiempo de iluminación el crecimiento del alga es mayor. Se estableció el orden de crecimiento del alga *Ulva lactuca* como de orden 2. El mercado potencial de biodiesel a nivel nacional es de 262.000 barriles/día siendo el mercado meta el 20% de este mercado. Dando esto como capacidad de la planta de 8.330.934 l/día. Los procesos involucrados en la obtención de biodiesel son: cultivo del alga, filtrado, separado, secado, extracción, mezclado, reacción de alcoholisis, destilado y decantado.

## REFERENCIAS

- Castellar G., Angulo E., Cardozo B., (2014) *Transesterification vegetable oils using Heterogeneous catalysts*, Prospect, Vol 12, N° 2, 90-104
- Christi, Y. (2007), *Biodiesel from Microalgae. Biotechnology Advances*. Vol. 25.
- Parada, J. (2012). *Síntesis de zeolita tipo A amónica para la captura de dióxido de carbono*. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico), Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Metropolitana. Caracas.

Pike Research, (2009). *Global biofuels market could reach \$185B by 2021*. Recuperado de <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/tag/pike-research/>

Rios, R (2007). *EL PETRÓLEO Y LA ENERGÍA EN LA ECONOMÍA*. Recuperado el 14 de noviembre de

[http://www.ogasun.ejgv.euskadi.eus/contenidos/informacion/estudios\\_publicaciones\\_dep/es\\_publica/adjuntos/petroleo\\_y\\_energia.pdf](http://www.ogasun.ejgv.euskadi.eus/contenidos/informacion/estudios_publicaciones_dep/es_publica/adjuntos/petroleo_y_energia.pdf). España.

Valdeiglesias, F. (2007). *Estudio de Factibilidad Económica para la Conversión de Vehículos Gasoleros a Gas Licuado de Petróleo*. Tesis para optar el Título de Segunda Especialización Profesional en Ingeniería del Gas Natural. Lima, Perú. Recuperado de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/660/1/valdeiglesias\\_lf.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/660/1/valdeiglesias_lf.pdf)

Wang, B., Lan, C., 2011. *Biomass production and nitrogen and phosphorous removal by the green alga*. Bioresource Technology in press.