



Obtención de gas combustible mediante la bioconversión del alga marina *Ulva lactuca*.

Obtaining gas fuel by means of the bioconversion of marine alga *Ulva lactuca*.

Pedro Miguel Díaz Rebollido

Centro Provincial de Higiene y Epidemiología. Cienfuegos. Cuba.

miki@hecf.cfg.sld.cu

Resumen

Uno de los biocombustibles más comunes y conocidos es el biogás, el cual puede ser obtenido mediante la bioconversión de diferentes materias orgánicas. Aunque poco conocido en nuestro país, también se puede obtener biogás partiendo de las algas marinas mediante un adecuado manejo, sin que constituya un peligro ecológico. La biomasa de las algas se puede considerar como un sustrato comparable con los residuos agrícolas y residuales urbanos en el campo de la biometanización. El presente trabajo tiene como objetivo obtener gas combustible mediante la bioconversión del alga marina *Ulva lactuca*. Para esto, se determinó la composición físico – química de las algas y se diseñó un sistema de digestión para obtener biogás a nivel de laboratorio. Se logró obtener 0.017 m³/kg de biogás, con 65.3% aproximadamente de metano, alcanzando una presión suficiente para ser quemado en mecheros tipo Bunsen usados en laboratorios. El uso del alga como sustrato demostró ventajas que hacen factible su uso para estos fines, ya que no contiene lignina en cantidades que obstruya el proceso de bioconversión, no es necesario hacer pretratamiento ahorrando reguladores de pH y la adición de nutrientes. Además, el uso de algas para la producción de biogás puede ser una solución a la deposición de esta biomasa en las orillas de las playas.

Abstract

One of the most common known bio-fuel is biogas. It can be obtained by means of the bioconversion of different organic matters. Although little known in our country, biogas may also be obtained from marine algae by means of an adequate management, without constituting an ecological hazard. Algae biomass can be considered as a substrate comparable to agricultural and urban wastes, in the field of biomethanization. The objective of the present work is to obtain gas fuel by means of the bioconversion of marine alga *Ulva lactuca*. For this purpose, the physicochemical composition of the algae was determined and a digestion system to obtain biogas at laboratory scale was designed. As a result, 0.017 m³/kg of biogas was obtained, with approximately 65.3% of methane, reaching enough pressure to be used in Bunsen burners used in laboratories. The advantages of using algae as substrate demonstrated its feasibility for this purpose: since algae do not contain lignin in quantities that obstruct the bioconversion process, it is not necessary to make a previous treatment, thus saving pH regulators and the addition of nutrients. Moreover, the use of algae for biogas production can be a solution for the deposition of this biomass on the beaches.

Palabras claves: biocombustible, bioconversión, biogás, biometanización, *Ulva lactuca*.

Keywords: bio-fuel, bioconversion, biogas, biomethanization, *Ulva lactuca*.



INTRODUCCION

La obtención de biocombustibles obtenidos de plantas terrestres de uso comestible es bien conocida y cuestionada por su repercusión negativa debido a lo que implica para el desarrollo sostenible de la humanidad, principalmente, para los países pobres. Aun cuando la producción de biocombustibles se presentan como “amigables” al ambiente, ya que son biodegradables y contribuyen a la sostenibilidad (Puppán, 2001), han surgido una serie de cuestionamientos debido a que se esta reemplazando el cultivo de productos alimenticios.

Las investigaciones para la obtención de biocombustibles a partir de las algas no es nueva; no obstante, recién en los últimos años se le esta prestando la debida atención. Según Gao y McKinley (1993) las macroalgas tienen una mayor productividad que las plantas terrestres, y no compiten con ellas por el terreno, además, debe considerarse que las algas se pueden cultivar en zonas marinas o en tierra, obteniéndose varias cosechas al año. Por otra parte, grandes cantidades recalcan a las costas y en el caso de las playas arenosas de uso turístico tienen que ser recogidas ya que atentan contra la estética de estos entornos y la gran mayoría se depositan en lugares inadecuados con deficiente o sin ningún criterio ambiental, además, en su recogida se pierden grandes cantidades de arena afectando de esta manera, el ecosistema en cuestión.

Uno de los usos principales y más antiguos, aunque no muy extendido, que el hombre le ha dado a estas algas marinas es el uso comestible. Con el paso del tiempo y el desarrollo alcanzado, de ellas también se han obtenido una gran diversidad de productos como el agar, la carragenina, alginatos y otros bioproductos muy útiles. También, por medio de su bioconversión y métodos de transformación de la biomasa puede obtenerse energía como la mecánica, eléctrica y calórica, que están dentro del concepto de tratamiento térmico, producción de fertilizantes orgánicos de gran calidad y obtención de biogás mediante el proceso de metanización.

Uno de los biocombustibles más comunes y conocidos es el biogás, el cual puede ser obtenido mediante la bioconversión de algas marinas mediante un adecuado manejo, sin que constituya un peligro ecológico.

Se ha demostrado la producción de metano a través de la fermentación anaeróbica, da tasas mayores que otras fuentes de biomasa. En este sentido, la digestión anaeróbica para la producción de biogás ya ha demostrado buenos resultados (Reith *et al.*, 2005). La idea de producir gas metano desde las algas fue propuesta a inicios de la década de los años 50 (Meier, 1955 citado por NREL 2006b).

La biomasa de algas se puede considerar como un sustrato sólido comparable con lo residuos agrícolas o residuales urbanos, materias estas muy conocidas y usadas en el campo de la biometanización, con la ventaja que en su composición no poseen o poseen muy poca lignina que es un gran obstáculo en la degradación de la celulosa y los diferentes tipos de polisacáridos, por lo que no es necesario un pretratamiento en la obtención de metano, ya que también presentan una gran riqueza de elementos nutritivos.

El biogás es el nombre común que se le ha dado a la mezcla gaseosa producida mediante la biodegradación total de la materia orgánica en ausencia de oxígeno del aire, lo que se conoce como condiciones anaeróbicas. Los principales componentes del gas obtenido por este método son: el metano, CH₄, que de acuerdo a la materia biodegradable usada, se puede encontrar entre el 50% al 70%, el dióxido de carbono (CO₂) entre el 30% y el 50%, así como trazas de otros gases como nitrógeno (N₂), sulfuro de hidrógeno (SH₂), hidrógeno (H₂) y vapor de agua (Guardado, 2007).



El valor calórico del biogás está entre 4 700 a 5 500 kcal/m³ y puede ser utilizado en la mayoría de los casos como sustituto del gas industrial obtenido del petróleo.

Debido a la escasez de hidrocarburos, los precios elevados en el ámbito mundial, la contaminación al medio ambiente, la necesidad de ahorro de combustible y la posibilidad de biomasa de algas marinas que puede ser aprovechada en la obtención de biogás como una nueva fuente de energía alternativa, se realiza esta investigación a nivel de laboratorio.

MATERIALES Y METODOS

Como fuente de bioconversión para la obtención de biogás se colectaron 4.0 kg (peso húmedo) del alga marina *Ulva lactuca*, conocida también como “lechuga de mar”. Esta macroalga marina pertenece al grupo de las clorofíceas o algas verdes, del orden de los Ulvales, crece en la zona intermareal, al tolerar salinidades bajas puede encontrarse en estuarios y también, frecuentemente, donde existen aportes nitrogenados (www.es.wikipedia.org/wiki/Ulva_lactuca).

El muestreo se realizó en la zona costera de Punta Gorda, bahía de Cienfuegos, localizada en los 22° 09' Lat N y 80° 27' Long W en la costa sur de Cuba. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio inmediatamente después de colectadas donde se limpiaron manualmente con agua corriente, y posteriormente, con agua destilada para eliminar cualquier material que interfiera en la digestión. Seguidamente, las muestras se colocaron en el recipiente digestor, conservando el mismo tamaño de cuando fueron colectadas.

Se utilizó el método de digestión anaerobia para liberar parcialmente la energía química almacenada en la biomasa en forma de metano. Como digestor se utilizó un recipiente de 20 L, clasificándolo como digestor discontinuo, acoplado a un recipiente de 5 L donde se almacenó el biogás obtenido.

La relación utilizada de sustrato - agua fue de 1: 3.7, por lo que el volumen total del proceso fue de 19.0 Kg.

Para medir la presión del gas obtenido, se confeccionó un manómetro en forma de **U** con válvula de seguridad (Fig. 1), el cual se llenó con agua coloreada. Al manómetro se le hizo una escala en centímetros, subdividida en milímetros, para poder medir el desplazamiento del nivel del agua producido por el gas obtenido, siendo este equivalente a la presión interior del digestor, teniendo en cuenta que 1m = 0.1 kg/cm².

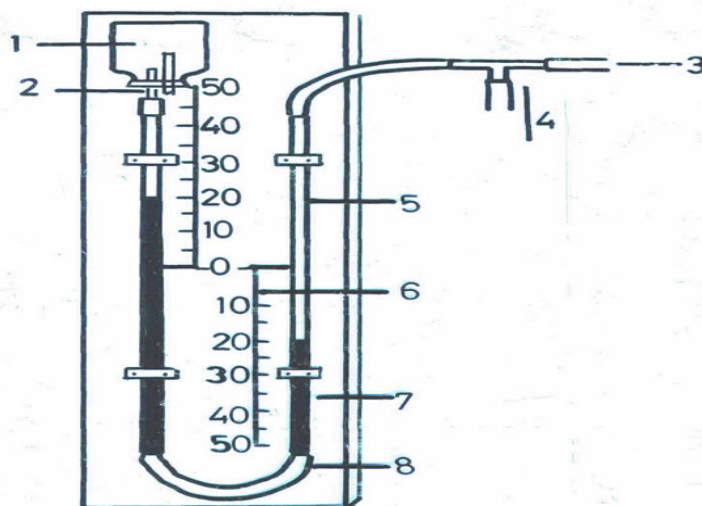
Se determinó el peso seco de los componentes del alga. Los componentes determinados fueron: nitrógeno, por el método Kjeldahl, fósforo, por el método calorimétrico del molibdo vanadato, sodio y potasio por el método de emisión por fotometría de llama, calcio por el método volumétrico del permanganato de potasio y magnesio, método gravimétrico (Association of Official Analytical Chemists, 1975).

Las características bromatológicas determinadas fueron: proteínas por método Kjeldahl, cenizas, método gravimétrico por incineración, carbohidratos por el método volumétrico de Lane-Eynon, y materia orgánica por el método de digestión ácida a reflujo (Association of Official Analytical Chemists, 1975).

El pH fue medido por el método potenciométrico (± 0.01) con electrodo combinado y solución de KCl 3 Molar.

A todas las muestras de algas colectadas en los cinco muestreos realizados, se les realizaron las determinaciones de los componentes por duplicado, considerando para el estudio el rango de valores hallados.

Las características físicas se realizaron por observación directa del alga.



Manómetro y válvula de seguridad.

Leyenda: 1:depósito "B" 2:salida de exceso de biogás.
 3:biogás del digestor. 4:biogás para el consumo.
 5:tubo de vidrio. 6: escala en cm
 7:agua coloreada. 8:manguera de goma.

Figura 1. Manómetro en forma de U con válvula de seguridad

Figure 1. U-shaped manometer with safety valve

La temperatura del proceso se midió diariamente en grados Celsius con un termómetro de escala de 0 a 50 (± 0.1 °C), expresando esta en su valor promedio.

El tiempo de retención de la biomasa fue de 30 días.

La obtención de biogás se comprobó mediante combustión empleándose un mechero de laboratorio tipo Bunsen.

RESULTADOS Y DISCUSION

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el cual la materia orgánica se descompone mediante la acción de un grupo de bacterias específicas y en ausencia de oxígeno, para obtener biogás. Puede aplicarse a residuos ganaderos (estiércol), agrícolas (excedentes de cosechas, etc.) así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos, entre otros.

Las características físicas de estas macroalgas revelan que es un material sólido de color verde intenso, su forma es laminar, puede llegar a medir un metro o más de longitud. Su poder fotosintético es fuerte.

Tabla 1. Características físicas del alga *Ulva lactuca*.
 Table 1. Physical characteristics of alga *Ulva lactuca*.

Indicadores	Descripción
Estado	sólido
Color	verde intenso
Aspecto	láminas

Las bacterias como microorganismos vivientes son más activas cuando las condiciones ambientales les son favorables. Entre los factores más importantes para obtener biogás en condiciones de anaerobiosis se encuentran la no presencia de oxígeno en el sistema, condición indispensable para la producción de gas metano en un rango de temperatura adecuada y uniforme que varía de 25 a 30 °C. En el presente trabajo se realizaron 37 mediciones de este parámetro al sistema, obteniendo como valor promedio de temperatura 28.7 °C, valor este que facilita la descomposición de la materia orgánica.

Al inicio de la digestión la mezcla presentaba un pH de 6.8, que propició el desarrollo bacteriano, ya que estos microorganismos en general, son más eficientes descomponedores en rangos de valores cercanos al neutro, pH 7.

En cuanto a la composición de micronutrientes como sodio, potasio, calcio y magnesio fueron adecuados y en algunos casos, algo altos, comparados con otras materias biodegradables para la obtención de biogás.

Tabla 2. Elementos componentes del alga *Ulva lactuca*.
 Table 2. Elements contained in alga *Ulva lactuca*.

Elemento	Peso seco (mg/100g)
Nitrógeno	0.95 - 2.94
Fósforo	130.4 - 202.55
Potasio	792.7 - 2816.2
Sodio	674.77 - 1075.8
Calcio	858.0 - 880.0
Magnesio	3582.2 - 3785.3

Además de micronutrientes, las características bromatológicas de esta especie le permiten ser evaluada con fines de producción de metano, producto del contenido de carbohidratos, proteínas y de manera general, el contenido de materia orgánica.

Tabla 3. Componentes orgánicos del alga *Ulva lactuca*.
 Table 3. Organic components of alga *Ulva lactuca*.

Componente	Peso seco
Proteína	5.9 -18.38%
Fibra	7.6 -27.4%
Cenizas	25.5 -33.4%
Carbohidratos	49.2 -68.9%
Materia orgánica (DQO)	2726.0 - 3456.0 mg/L

Por otra parte, es conocido que la metanización es el resultado de la actividad extremadamente compleja de las bacterias sobre la materia orgánica y esta se puede dividir en cuatro etapas:

1. Hidrólisis, 2. Fermentación, 3. Acetogénesis y 4. Metanogénesis.

En cuanto a este proceso de degradación de la materia orgánica se obtuvo que el total de este material fue de 3 456.0 mg/L de demanda química de oxígeno (DQO), valor este que corresponde a los valores teóricos siguientes:

Proteínas: 725.76 mg/L, lo que corresponde al 21% del total de la materia orgánica, carbohidratos: 1382.4 mg/L (el 40 %) y otros componentes: 1347.84 mg/L, el 39%.

De esta composición, el total de las proteínas, los carbohidratos y un 5% de los otros componentes (172.8 mg/L), son convertidos en el proceso a aminoácidos y azúcares, lo que representa el 66% en la etapa de hidrólisis, el 34% restante, (1280.45mg/L) son convertidos a ácidos grasos.

Deben pasar entonces a acetatos y CO₂ gaseoso en el proceso de fermentación el 35% de los aminoácidos y azúcares, el 12% de los productos intermedios, propionatos y butiratos y el 23% de los ácidos grasos que representan 2419.2 mg/L o sea, el 70% de la materia orgánica. El 30% restante va a convertirse en hidrógeno, estando así creadas todas las condiciones para que los constituyentes de la acetogénesis, pasen a metano por medio de la descarboxilación de los acetatos o a la reducción por hidrógeno a dióxido de carbono.

De esta forma, está lista la producción de metano que comenzó a los ocho días de digestión, alcanzando 14 mm en la columna del manómetro, obteniéndose un pico de producción máxima el noveno día, donde el manómetro marcó 110 mm, que fue la mayor diferencia registrada por día en la producción de biogás. Se continuó el proceso por 19 días más, hasta llegar a los 30, acumulando un total de 320 mm, valor máximo registrado en la escala del manómetro, manteniéndose constante este valor por dos días más indicando que la digestión había finalizado.

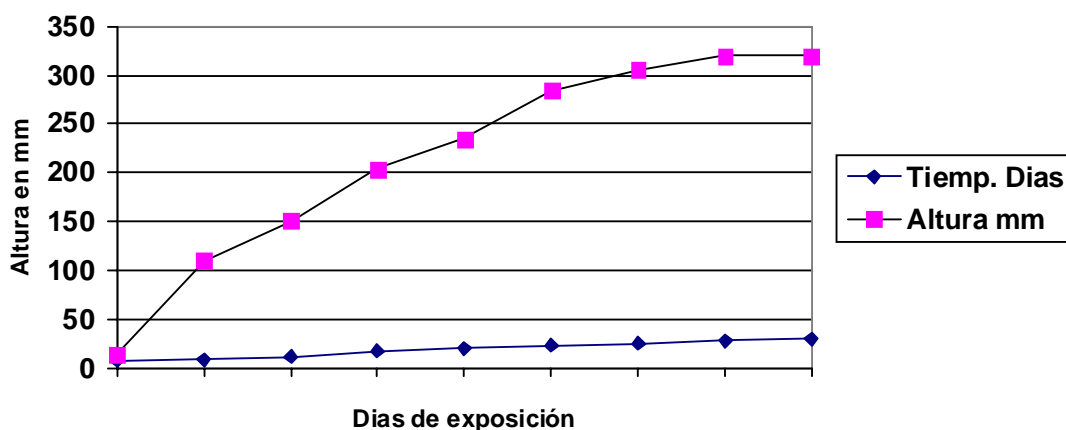


Figura 2. Altura del biogás en los 30 días de retención (mm)
Figure 2. Height of biogas in 30 days of retention (mm)

Como resultado final en este proceso, se logró obtener 0.017 m³/kg de biogás con 65.3% aproximadamente de metano, alcanzando una presión suficiente para ser quemado en mecheros tipo Bunsen usados en laboratorios.

Al realizar la combustión, la llama obtenida presentaba coloración azul en su porción superior y naranja en la base.

Tabla 4. Característica de la digestión anaeróbica del alga *Ulva lactuca*.
Table 4. Characteristics of the anaerobic digestion of alga *Ulva lactuca*.

Sustrato Utilizado en la digestión	Digestor Vol. (L)	Temperatura (°c)	pH	Retención (días)	Produc. (m ³ /Kg)	Porcentaje de CH ₄ (%)
<i>Ulva lactuca</i>	20	28.7	6.8	30	0.017	65.3

Este resultado se encuentra en correspondencia con lo obtenido con otras fuentes biodegradables como las excretas de cerdo, ternero y carnero, cuya producción de metano es 70 a 65% el cerdo, 65% ternero y 63% carnero, (EMISON, 2008).

Estudios realizados por entidades del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA) en la bahía de Cienfuegos, demuestran la presencia de grandes volúmenes de diferentes tipos de macroalgas marinas, entre ellas la *Ulva lactuca* y que el cultivo de las mismas es factible, además de las colectadas por recalo en las diferentes playitas existentes dentro de la bahía, por lo que la biomasa total aprovechable estaría en el rango de decenas de toneladas quizás mucho más, que generarían un volumen de biogás que permitiría su uso en las comunidades costeras, centros laborales y recreativos próximos a este entorno marino. Aún con estos elementos, debe cuidarse su explotación a través de un adecuado manejo, ya que las algas presentan entre sus funciones la de producción de oxígeno al medio y por tanto, reguladora de este ecosistema.

Por otra parte, el proceso final de este biocombustible permite el aprovechamiento de los lodos residuales de la fermentación anaeróbica utilizables como fertilizantes orgánicos de gran calidad, no contaminantes del ambiente.

CONCLUSIONES

- Es factible la bioconversión del alga *Ulva lactuca* para la obtención de biogás a nivel de laboratorio.
- Los parámetros y el formato usados para obtener biogás demostraron ser efectivos y pueden ser reproducibles.
- No es necesario hacer pretratamiento y se ahorra reguladores de pH y la adición de nutrientes.
- Se obtuvo y combustionó el gas obtenido, observándose una llama típica del producto.



AGRADECIMIENTOS

A Juan de Dios Chaviano Quesada y a Marisol Rodríguez Gallardo del Laboratorio de Química Sanitaria, Centro Provincial de Higiene y Epidemiología de Cienfuegos, por su colaboración en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Association of Official Analytical Chemists. 1975. Official Methods of Analysis. Twelfth Edition. Washington, DC. 20044.
- Benemann J., Van Olst J., M. Massingill, J. Weissman y Brune. The controlled eutrophication process: Using microalgae for CO₂ utilization and agricultural fertilizer recycling. http://www.unh.edu/p2/biodiesel/pdf/algae_salton_sea.pdf
- Briggs, M. 2004. *Widescale biodiesel production from algae*. University of New Hampshire, Physics Department. http://www.unh.edu/p2/biodiesel/article_alge.html
- Carrillo, L. 2003. *Rumen y biogás*. http://www.unsa.edu.ar/matbib/microgri/microgri_cap5.pdf
- Cortada, J. 2006. Problemas de la tecnología del biogás. *Energía y tú. Cubasolar* No.36, <http://www.cujae.edu.cu/centros/ceter>
- EMISON. 2008. *Biogas*. <http://www.emison.com>
- Gao, K. y K. McKinley. 1993. Use of macroalgae for marine biomass production and CO₂ remediation: a review. *J. of App. Phycology*, 6(1): 45 - 60.
- Guardado, j. 2007. Tecnología del biogás. *Energía y tú. Cubasolar* No. 40, <http://www.cujae.edu.cu/centros/ceter>
- Montenegro, I. 1986. *Producción de biogás usando mezclas de desechos de animales y algas marinas*. <http://www.base.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe>
- National renewable energy laboratory (NREL). 2006a. From biomass to biofuels. USA. 6 p. <http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/39436.pdf>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). 2006b. Biodiesel from Algae Part I: Program Summary. USA, 3 pp.
- Puppán D. 2001. Environmental evaluation of biofuels. *Periodica Polytechnica Ser. Soc. Man. Sci.*, 10 (1): 95 – 116. http://www.pp.bme.hu/so/2002_1/pdf/so2002_1_08.pdf
- Reith, J., E. Deurwaarder, K. Hermes, P. Kamermans, W. Brandenburg y G. Zeeman.

2005. Bio-Offshore. Grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee. ECN biomassa, A.P.W.M. Curvers, ECN windenergie, WUR - Nederlands Instituut voor visserijonderzoek / RIVO, Plant research international, lettinga associates foundation. Holanda. 137 pp.

<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05008.pdf>

Recibido: 18 de noviembre 2009

Aceptado: 22 de marzo 2010