

Ciclo energético sustentable productor de biogás

Nahuel Casá², Fernando Scattolin², Nicolás Galante¹, Patricia Della Rocca², Horacio Trigubó¹

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Mecánica, Medrano 951 (C1179AAQ), Buenos Aires, Argentina

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química, Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Químicas Aplicadas (IDETQA) Medrano 951 (C1179AAQ), Buenos Aires, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 24 de septiembre de 2014, aprobado el 13 de noviembre de 2014

Resumen

Con el fin de obtener energía con mínimo impacto ambiental, se desarrolló un ciclo energético que contempla la producción de biogás a partir de residuos de biomasa algal. Estos residuos han resultado luego de la extracción de compuestos de interés. La posterior combustión del biogás permite utilizar el dióxido de carbono para el cultivo de las algas. Las microalgas se cultivaron en el laboratorio y luego se repicaron en un fotobiorreactor tipo carousel de mayor volumen. Las algas obtenidas se secaron y luego se sometieron a la extracción de antioxidantes, de interés industrial. A partir de los residuos de algas obtenidos se generó biogás en un biodigestor. En una segunda etapa, el biogás generado se empleará en poner en movimiento un motor de baja potencia, que será empleado para accionar un generador eléctrico. El gas de combustión que produce el motor podrá acumularse y recircularse a través de un sistema de burbujeo al fotobiorreactor de cultivo de algas. A partir de las experiencias realizadas se pudo comprobar la factibilidad del ciclo propuesto.

PALABRAS CLAVE: BIOGAS – BIOCOMBUSTIBLES – BIOENERGÍA - CICLO ENERGÉTICO SUSTENTABLE

Abstract

To obtain power within a minimum ambient impact an energetic cycle was developed including biogas production from algal biomass residues. These residues become from a previous extraction to obtain valuable compounds. Combustion of said biogas yields carbon dioxide to be applied as feed to algae culture. Microalgae were cultured at laboratory scale and afterwards propagated in a higher volume carousel type photobioreactor. The formed algae were concentrated, dried and extracted to obtain antioxidants of industrial significance. The solid remains were treated in a biodigester and yields biogas. In a second step this biogas is used as a fuel in a low power motor for electric generation. Exhaust gas from the motor is to be stored and recycled to the photobioreactor to feed by bubbling the algae culture. Tests performed showed the feasibility of the whole proposed cycle.

KEYWORDS: BIOGAS – BIOFUELS – BIOENERGY – SUSTAINED ENERGETIC CYCLE

Introducción

En los últimos años el debate mundial acerca del calentamiento global ha adquirido una importante relevancia. Por otra parte, el agotamiento de fuentes fósiles de energía plantea un panorama poco alentador. En este sentido, las fuentes renovables de energía tendrán un papel fundamental al modificar la composición de la "canasta" de fuentes energéticas. Simultáneamente, se hace necesaria la reducción de las emisiones gaseosas causantes del efecto invernadero, particularmente el dióxido de carbono (CO₂). La habilidad de los cultivos de microalgas para utilizar altos volúmenes de CO₂ en su fotosíntesis puede ser empleada para mitigar estas emisiones. De esta manera, el CO₂ proveniente de procesos industriales y de la generación de energía eléctrica podría ser utilizado por las algas en su desarrollo. Entre las fuentes de energía renovables, el biogás producido a partir de diferentes tipos de sustratos se presenta como una alternativa viable para contribuir a satisfacer el incremento de la demanda mundial de energía.

El biogás es una mezcla gaseosa constituida principalmente por metano, dióxido de carbono y trazas de otros gases como sulfuro de hidrógeno, vapor de agua, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno. La composición del biogás depende del material digerido y de las condiciones de proceso. La digestión anaeróbica puede llevarse a cabo con residuos orgánicos provenientes de las actividades antrópicas. Los residuos orgánicos pueden provenir de la producción animal, agrícola, agroindustrial, urbana u otros. En este trabajo se emplearon residuos de biomasa algal.

En países como China e India en los años 1970-1980, el biogás comenzó a aprovecharse para producir energía. Sin embargo, el desarrollo de procesos de biodigestión en los países industrializados se relacionó con el cuidado del medio ambiente más que con fines energéticos. La producción de biogás empezó a recobrar importancia para reducir los residuos orgánicos y aprovechar su potencial energético. Algunos de los efectos benéficos del uso de biogás asociados al cuidado del medio ambiente, calidad de vida y diversificación de la matriz energética son:

1. Solución a la disposición final de los resi-

duos reduciendo la contaminación del agua y del suelo

2. Disminución de la deforestación al reemplazar el consumo de leña.
3. Sustitución total o parcial de la aplicación de fertilizantes sintéticos.
4. Reducción de la emisión a la atmósfera de gases contaminantes como monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado.
5. Conversión de los residuos en materias primas con valor energético.
6. Contribución al cumplimiento de la Ley N° 26190 de energías renovables sancionada en 2006, que fomenta el uso de fuentes renovables destinadas a la producción de energía eléctrica. En su artículo 2, la Ley propone lograr una contribución de las fuentes renovables del 8 % al aporte de energía total en 10 años desde la puesta en vigencia de la ley.

El biogás producido puede tener distintas aplicaciones:

1. Generación de energía térmica en calderas.
2. Generación de electricidad en motores o turbinas.
3. Combustión en automóviles.
4. Incorporación del mismo a una red de gas natural previa purificación e incorporación de aditivos.

La energía disponible en el biogás depende de las cantidades de biogás y de la proporción de metano en su composición. Se estima que el biogás tiene un poder calorífico de aproximadamente 6,5 -7 kWh/m³, cuando la composición es de un 65 % de metano y un 35 % de dióxido de carbono. Entonces, un metro cúbico de biogás equivale aproximadamente a 0,6 L de gas-oil, 0,7 L de nafta, 0,3 kg de carbón o 0,6 m³ de gas natural.

Durante la fermentación anaeróbica de la materia orgánica de los residuos intervienen las siguientes etapas (Hilbert, 2010):

Fase de hidrólisis: Las bacterias fermentativas (facultativas) toman la materia orgánica compuesta de largas cadenas carbonadas y las rompen en cadenas de menor longitud. Se forman así ácidos orgánicos como el butírico y propiónico, alcoholes y otros compuestos de cadena corta.

Fase de acidificación: Las bacterias acetogénicas realizan la degradación de los compuestos de la etapa anterior en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

Fase metanogénica: Las bacterias metanogénicas (anaeróbicas estrictas) transforman el ácido acético en metano y dióxido de carbono principalmente, que constituyen el biogás.

Las microalgas son microorganismos potencialmente valiosos, son fábricas celulares que convierten el dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, en biomasa que produce una serie de metabolitos y variedad de compuestos bioactivos de gran interés comercial. Son fotoautótrofos, requieren luz, agua y nutrientes inorgánicos para su crecimiento. Las algas utilizan el CO₂ como fuente de carbono y por consiguiente, pueden colaborar con la mitigación del CO₂ del ambiente y reducir el efecto invernadero. Uno de los beneficios de la producción de la biomasa algal es la obtención de sustancias muy valiosas para la industria de los alimentos, los cosméticos, los productos farmacéuticos, el tratamiento de efluentes indus-

triales, la producción de biodiesel, etc.

Metodología

El ciclo energético sustentable (Figura 1) comprende las siguientes etapas:

Producción de Biomasa Algal

El cultivo de las algas de la especie *Spirulina platensis* se realiza en medio Zarrouk, en principio a escala laboratorio con la finalidad de determinar las condiciones óptimas de cultivo (pH, fotoperíodo, temperatura, etc.) (Figura 2).

Posteriormente, se realiza la producción de biomasa algal a una mayor escala en un fotobiorreactor de tipo carousel (Figura 3), dicho reactor ha sido diseñado de modo de permitir las condiciones necesarias para lograr un crecimiento óptimo de las algas.

El fotobiorreactor de un volumen aproximado de 6 L, posee un variador de velocidad que le permite poder controlar la intensidad de agitación de las microalgas para favorecer y hacer más eficiente la exposición a la luz de las mismas. La variación de velocidad se logra a través del ajuste de la frecuencia de la corriente de alimentación al motor. La agitación se realiza con unas paletas de inclinación graduable que giran por el accionar del motor de velocidad variable y un sistema de inyección de gases en el fondo del fotobiorreactor.

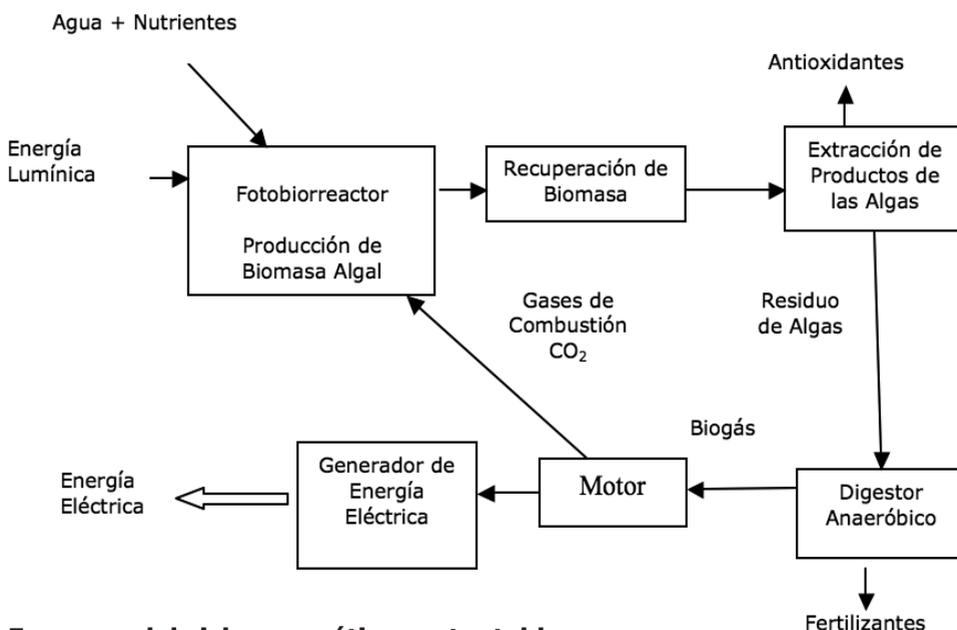


Fig. 1. Esquema del ciclo energético sustentable



Fig. 2. Cultivo de algas a escala laboratorio

La iluminación del biorreactor se realiza por un sistema de *leds* y tubos fluorescentes. La misma está controlada por un *timer* para lograr los fotoperiodos necesarios para que las microalgas crezcan y se reproduzcan de forma eficiente y controlada (12 h de iluminación y 12 h de oscuridad). La intensidad de la luz es de 3000 lux y el fotobiorreactor se termostatóizó en 22 °C mediante un controlador de temperatura.

Recuperación de la biomasa

Esta etapa consiste en la concentración de la biomasa utilizando distintos métodos de separación físicos. La concentración de la biomasa a escala laboratorio se realiza mediante filtración y al aumentar la escala de producción se emplea sedimentación y centrifugación.

Extracción de productos de la biomasa

Luego de reacondicionar la biomasa algal extrayendo las sales solubles con lavados y re-suspendiendo la misma en agua destilada, se

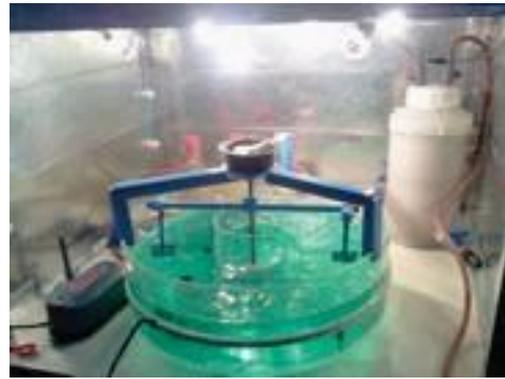


Fig. 3. Fotobiorreactor tipo carousel

extrajeron los antioxidantes con una solución alcohólica. El residuo de algas obtenido, luego de la extracción de los antioxidantes, se reacondicionó y se utilizó para producir biogás en el biodigestor.

Fermentación anaeróbica en el biodigestor

El residuo de algas se utiliza como sustrato en el proceso de digestión anaeróbica. El mismo se mezcla con el inóculo (estiércol de cerdo) formando entre ambas una mezcla semilíquida que constituye la alimentación al digestor anaeróbico. En esta etapa se produce biogás y un lodo que tiene aplicaciones como biofertilizante.

Se construyó un biodigestor con sistema de recirculación de lodos y una cámara para mantener la temperatura adecuada para el proceso de digestión. En la (Figura 4) se presenta el biodigestor dentro de la cámara.

El residuo de biomasa algal (sustrato) se desecó en estufa a 50 °C durante 5 días. Se de-



Fig. 4. Biodigestor con sistema de recirculación dentro de cámara termostática

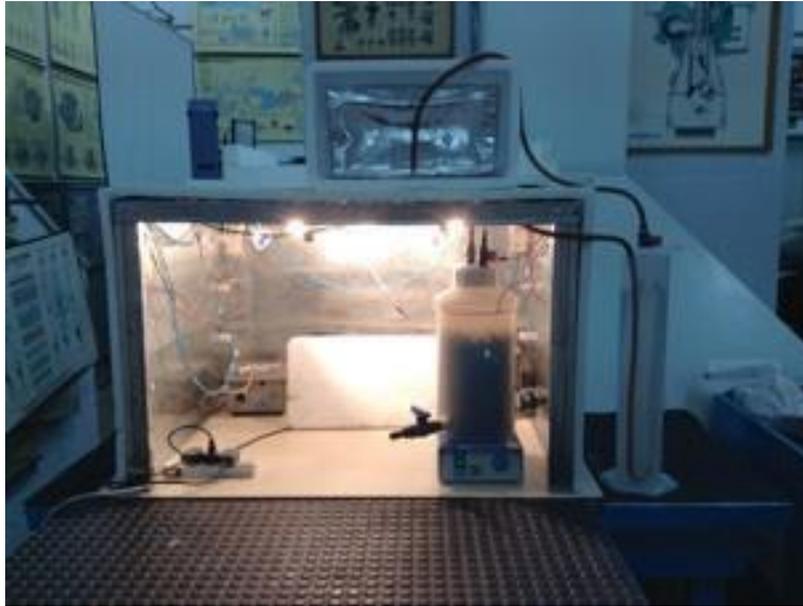


Fig. 5. Sistema de captación y medición de biogás y bolsa colectora (parte superior)

terminó la humedad del inóculo y del sustrato, luego del proceso de secado.

Ensayos de biodigestión

Se realizaron los ensayos de biodigestión utilizando distintas relaciones sustrato/inóculo (R:3, R:6 y R:30) para seleccionar la relación más favorable para la máxima producción de biogás.

El sistema de captación de los gases producidos en el biodigestor y el de medición del mismo se muestra en la Figura 5.

El biogás colectado en la bolsa se analiza cromatográficamente para determinar la composición del mismo en porcentaje molar.

Generación de energía eléctrica

La generación de energía que plantea este ciclo energético es a partir de la combustión del biogás generado, en un motor de baja potencia, que se halla acoplado a un generador eléctrico. El dióxido de carbono (CO₂), que se produce en la combustión del biogás, se utiliza para suministrarlo a las algas del fotobiorreactor para que lo utilicen para su crecimiento y reproducción.

Características del motor

Motor VILLA de 2,5 HP con su generador eléctrico (alternador 12V; 30A)

Se trata de un motor nacional de bajo costo y



Fig.6. Motor

de posible aplicación en las actividades rurales de nuestro país con la capacidad de funcionar con su combustible original (nafta) y con otros combustibles alternativos gaseosos como biogás, glp y gnc. En la Figura 6 se presenta el motor.

Resultados y análisis

La humedad medida para el estiércol de porcino (inóculo) fue de 69,11 % y la humedad del residuo de biomasa algal, luego de desecado fue del 6,62 %.

A continuación en la Figura 7 se presentan las curvas de producción de biogás en función del tiempo correspondientes a los datos experimentales obtenidos para las diferentes relaciones sustrato/inóculo. Estos datos se ajustan satisfactoriamente con una función polinómica de 2º grado.

A partir de los resultados alcanzados se pudo apreciar que las menores relaciones g de sustrato/g de inóculo medidas en base seca, favorecen la producción de biogás. Estos resultados están en concordancia con los obtenidos por otros autores considerados en la bibliografía (Quintero Vega et al., 2012).

Se aprecia en la Tabla 1 la composición del biogás determinada por cromatografía.

La productividad para las distintas relaciones sustrato/inóculo se calcularon teniendo en cuenta la máxima producción de biogás que se produjo entre los 12 y los 16 días de retención. Las mismas se presentan en la Tabla 2.

Como puede apreciarse en la Tabla 2, la mayor productividad se obtuvo para una relación sustrato/inóculo de 6.

Conclusiones

La producción de biogás es inversamente proporcional a la carga orgánica de residuo de *Spirulina* adicionada, mostrando una disminución significativa en la producción al aumentar la relación g de sustrato/g de inóculo. Se verificó que una relación g de sustrato/g de inóculo igual a 3 (tres) produjo una mayor cantidad de biogás en menor tiempo. Se obtuvo una máxima producción de biogás a los 12,5 días de comenzado el ensayo con esta relación. Sin embargo la mayor productividad se obtuvo para una relación de 6.

En las experiencias se pudo apreciar que el control del pH en la producción de biogás es muy importante y que la mejor producción se obtiene a pH 7 (Chen, 1996).

Los resultados obtenidos en este estudio preliminar demuestran que el estiércol de por-

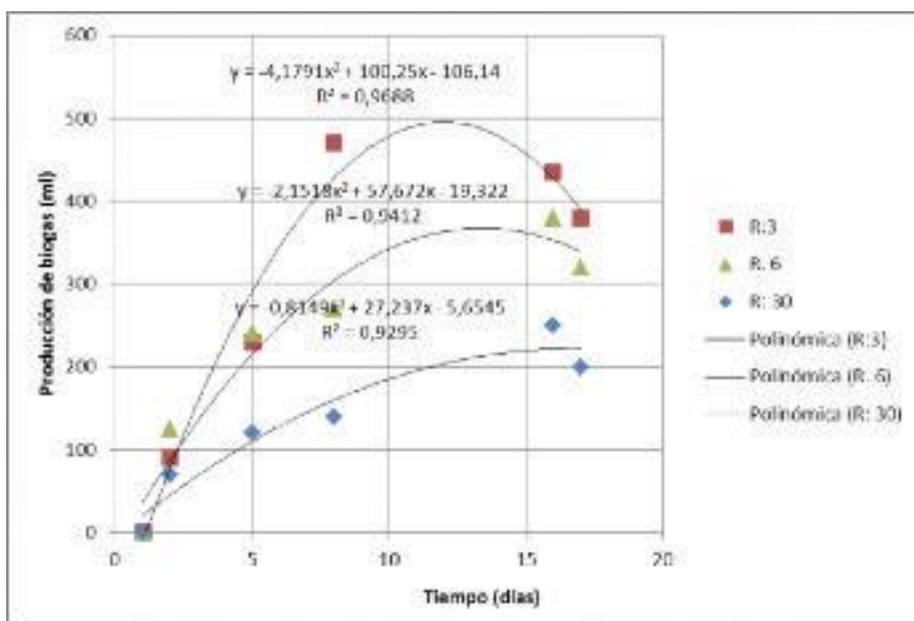


Fig. 7. Curva de producción de biogás para las diferentes relaciones sustrato/inóculo

Componentes	Porcentaje Molar
Metano	64,5
Dióxido de Carbono	35,0
Trazas de otros gases	0,5

Tabla 1. Composición del biogás producido

Relación sustrato/inóculo	Productividad (ml de biogás/g de <i>Spirulina</i>)
3	31,60
6	47,90
30	5,35

Tabla 2. Productividad de biogás para las diferentes relaciones sustrato/inóculo

cino presenta una adaptación favorable al sustrato utilizado, residuo de biomasa algal proveniente de *Spirulina platensis*, indicando que los consorcios microbianos de este inóculo proporcionan una alta actividad metanogé-

nica, por consiguiente, este inóculo puede ser utilizado para degradar este tipo de residuo.

El biogás obtenido presenta un porcentaje molar de metano bastante alto, del 65 %.

Referencias

- CHEN, T. y HASHIMOTO, A., (1996) "Effects of pH and substrate: inoculum ratio on batch methane fermentation", *Bioresource Technology*, 56, p 179-186.
- HILBERT, J. A., (2010) Manual para la producción de biogás del Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, <http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas>
- QUINTERO VEGA, M. C. y RONDÓN CASTRO, Y. P., (2012) Estudio preliminar de la producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica de mucílago de café utilizando lodo estiércol de cerdo como inóculo, Universidad Nacional de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Bucaramanga, Colombia.
- CARVALHO, A.P.; MEIRELES, L.A. y MALCATA, F.X., (2006) Microalgal reactors: A review of enclosed system designs and performances. *Biotechnology Progress* 22: 1490.
- SPOLAORE, P.; JUANNIS-CASSAN, C.; DURAN, E. y ISAMBERT, A., (2006) Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101: 87-96.
- DE LEMOS CHERNICHARO, C.; DESA, UFMG, (2000) Reactores Anaeróbicos, Principios do Tratamiento Biológico de Aguas Residuales, Vol. 5.
- SPEECE, R.E., (1996) *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*, Archæ Press.