

Diseño, construcción y operación de un biodigestor anaerobio tipo cúpula a escala real para la obtención de biogás

José Ramón Laines Canepa, José Aurelio Sosa Olivier, Karla Cristel Cámara Moguel, José Luis Alejandro Sánchez, Javier Ferreyro Olivares
josra_2001@yahoo.com.mx

Resumen

Una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos es el uso de biodigestores anaerobios. En 2010, se inició en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, el diseño, construcción y operación de un biodigestor anaerobio tipo cúpula. La construcción inició con el trazado y nivelación del suelo. Se levantaron cuatro taludes de tierra con forma trapezoidal constituyendo una celda de 67 m³. La celda se revistió con una geomembrana de PVC. En los taludes se colocaron cinco tubos, uno permite la entrada del influente, y 4 la recirculación y extracción del efluente. Sobre la celda, se instaló una geomembrana de PVC como reservorio, que toma forma cupular al llegar al nivel máximo de llenado con un volumen de 295 m³. A la cúpula se conectaron 4 reservorios desmontables de 3 m³ cada uno, mediante filtros de biogás. Se comprobó la funcionalidad del biodigestor alimentándolo con 7.3 ton de material ruminal vacuno. En un tiempo de retención hidráulica de 30 días, se obtuvo un llenado máximo de la cúpula que aunado al biogás de la tercera parte de la celda, representa una producción de biogás de 312 m³. Se analizó la composición del biogás por cromatografía, obteniéndose para el metano y dióxido de carbono un porcentaje de 59.34 y 30.95 respectivamente y para el sulfuro de hidrógeno de 15.45 ppm. El biogás generado se quemó durante 52 horas continuas, aprovechando este potencial calorífico realizando una bioparrillada con la comunidad universitaria.

Palabras claves: *bioparrillada, cúpula, geomembrana, metano, rúmen, residuos orgánicos*

1. Introducción

La biodigestión anaerobia es una de las soluciones para el tratamiento de los residuos orgánicos y una fuente de energía renovable. La primera planta de digestión anaerobia fue construida en una colonia de leprosos en Bombay, India en 1859, desde entonces en India se han construido cientos de biodigestores. Por otro lado, también se han construido miles de digestores en China, Taiwán, Corea, Tailandia, Kenya y Sudáfrica [1], [2]. Desde el surgimiento del primer biodigestor, se han inventado y probado varios modelos de plantas de biogás con el objetivo de aumentar la eficiencia y bajar los costos de los mismos [3]. El tipo de planta de biogás a ser instalada depende de los recursos humanos, de los factores biológicos y físicos, factores de construcción y factores utilitarios. Además, se deben tener en cuenta las condiciones climáticas en la que se desea construir y la disponibilidad económica y de materia orgánica degradable. Los digestores por lotes se cargan una vez en forma total o por intervalos durante varios días. La descarga se efectúa cuando se ha degradado en su totalidad la materia orgánica y ya no se produce biogás. Los digestores por lotes son preferidos cuando se presentan problemas operativos, el más común es la carencia de personal, o cuando el residuo orgánico no se genera en forma continua. Este tipo de digestores tiene la ventaja de procesar una gran variedad de materiales. Los altos costos de generación de energía eléctrica utilizando combustibles convencionales derivados de materiales fósiles, los costos crecientes del abastecimiento de petróleo, la contaminación ambiental por su uso, sumado al costo que involucra su obtención y carácter finito, cuya extinción está prevista para este siglo, generan la necesidad de

desarrollar proyectos que utilicen energías renovables para la generación de energía eléctrica y calorífica [2]. En todos los países europeos se han construido en los últimos 20 años más de 5,000 digestores a nivel industrial. En Alemania, se cuenta con más de 2,500 plantas de biogás. En los países latinoamericanos también se están desarrollando proyectos industriales de aprovechamiento de desechos orgánicos para la producción de biogás [2]. Bolivia implementó en 2006 un programa de viviendas autoenergéticas. Este programa instaló 250 biodigestores de polietileno tubular en comunidades rurales como una alternativa para desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias de pequeña, mediana y gran magnitud [4]. En México, en el 2003 se puso en marcha el primer proyecto de generación de energía eléctrica a partir del biogás generado por la fermentación anaerobia de residuos sólidos orgánicos municipales en Salinas Victoria, Nuevo León, México. Con base en las experiencias desarrolladas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México (SAGARPA), y a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), se generó la oportunidad de instrumentar en el 2006 un proyecto de aprovechamiento de biogás, en Convenio con la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM). Consistió en establecer 9 módulos demostrativos mediante la instalación de motogeneradores accionados con biogás, para la generación de energía eléctrica; buscando superar las barreras de desconocimiento de la tecnología y lograr un efecto multiplicador de la misma. A nivel de investigación universitaria, en la universidad Earth, de Costa Rica, [5], presentan un análisis teórico donde estiman que un Biodigestor de Polietileno de 7.2 m^3 , puede producir entre 3524 y 4133 kW/año, señalan que el poder calorífico se debe a que dentro del biogás se encuentran compuestos en diferentes proporciones en volumen tales como el dióxido de carbono en un 33.2%, monóxido de carbono en un 0.1%, metano en un 60%, hidrógeno en un 1%, nitrógeno en un 0.5%, ácido sulfhídrico en un 0.1% y oxígeno en un 0.1%. [6] implementaron un sistema de generación de energía eléctrica, que permite aprovechar el biogás generado a partir de excretas de origen animal y [7], evaluaron un biodigestor de flujo continuo en la Finca Integrada Orgánica José Elías Sánchez (FIO), alimentado con heces fecales y orina humana y un digestor anaerobio plástico colapsable tipo batch ubicado en el Relleno Sanitario (RS), alimentado con lodos sépticos de las residencias estudiantiles de la misma universidad, reportan que el volumen del biogás producido no logró ser medido con total precisión. Estudios indican que 30 millones de toneladas de CH_4 son generadas anualmente por diferentes sistemas de producción animal y desechos orgánicos. Estas emisiones pueden reducirse a aproximadamente 13.24 millones de toneladas de CH_4 al año por la aplicación de sistemas de digestión anaeróbica. A nivel mundial, el uso de la biodigestión puede evitar la emisión de alrededor de 420 millones de toneladas de CO_2 y puede prevenir la emisión de 49 mil toneladas de óxidos de nitrógeno [8]. Los beneficios directos del uso de la biodigestión pueden ser estimados en base al uso del biogás como energía renovable y en la aplicación del efluente como sustituto de nutrientes aportados por fertilizantes sintéticos en la actualidad [9]. En Tabasco, México se ha generado muy poca información sobre el diseño, construcción y operación de biodigestores para la obtención de biogás. Lo anterior resulta paradójico si se considera que Tabasco es un estado del sureste mexicano donde se genera mucha materia orgánica y las características climatológicas son muy favorables para la degradación de la misma. Esta problemática permite plantear las siguientes preguntas de investigación ¿Se puede diseñar un biodigestor tipo cúpula, adaptable a las condiciones de la región? ¿Qué tipos de materiales se pueden utilizar en la construcción de los biodigestores que soporten las inclemencias del tiempo? ¿Influyen las condiciones meteorológicas en la operatividad de un biodigestor? ¿Se puede producir biogás a escala real en el estado de Tabasco? ¿Cuánto biogás se genera por tipo de residuo? ¿Cuál es la composición del biogás medido por cromatografía? Empezar a generar información local es de suma importancia. Por lo tanto el presente trabajo muestra los siguientes objetivos: diseñar un biodigestor anaerobio tipo cúpula de operación tipo Batch, construir un biodigestor anaerobio tipo cúpula utilizando como materiales básicos geomembrana y tubería de pvc y operar un biodigestor.

2. Materiales y método

El sitio seleccionado para la construcción del biodigestor es el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE) de la DACBiol.

2.1 Construcción del biodigestor y reservorio de biogás

Celda. Debido a que el manto freático está a 0.5 m de profundidad, se construyó sobre el nivel del suelo. La constituyen cuatro taludes de tierra, uno de 2 X 0.60 X 0.40 X 7.7 m ubicado al este, otro de la misma medida al oeste, un tercer talud de 2 X 1 X 0.40 X 18 m ubicado al norte y el último de la misma medida que la anterior ubicado al sur.

Construcción del biodigestor. A la celda que funciona como soporte, se le colocó un recubrimiento impermeable de geomembrana de PVC de 0.75 mm. La entrada del influente, es un tubo de PVC de 6" de diámetro, con uno de sus extremos colocado dentro de una capucha termosoldada sobre el talud ubicado al este y a una altura de 42 cm del nivel del piso, lo que permite un llenado de la celda en un 70%. El otro extremo del tubo está anclado en un registro de concreto de 1 m³. Se añadieron cuatro tubos de PVC de 6" tangencialmente al talud ubicado al oeste de la celda que permiten la recirculación y extracción de sólidos.

Construcción del reservorio. Para la instalación de la cúpula que funciona como reservorio del biogás, se utilizó el mismo tipo de geomembrana. Se soldó de manera térmica a la geomembrana que recubre la celda, con un traslape de 20 cm. En la cúpula se instalaron cuatro tubos de PVC de 2" con sus respectivas válvulas de paso. Tres que sirven para colocar manómetros de presión y tomar las muestras de biogás. El cuarto permite la extracción del biogás, y está conectado a 4 reservorios desmontables de 3 m³ cada uno, mediante filtros de limaduras de fierro, con el objeto de reducir el ácido sulfhídrico (H₂S) contenido en el biogás.

Alimentación del biodigestor. Se utiliza el material ruminal vacuno, donado por el Frigorífico y Empacadora de Tabasco, S.A. de C.V. El transporte se hace en tanques de 200 Litros con tapa. El proceso comienza con el pesado de la biomasa. Seguido del mezclado con agua en proporción 4 a 1 (agua:rumen). Y por último se introduce la mezcla al biodigestor hasta alcanzar los sellos hidráulicos.

Operación del biodigestor. Cada tercer día, se realiza una agitación de todo el sistema con ayuda de una bomba de agua autocebante de 15 H. P. a través de los tubos de recirculación y extracción de sólidos, durante un tiempo de 30 minutos

Tiempo de retención del biodigestor. 90 días.

2.2 Monitoreo

Sustrato. Cada tercer día, se toman cuatro muestras al sustrato que está dentro del biodigestor, una por tubo de recirculación y extracción de sólidos. A cada muestra, se le miden parámetros fisicoquímicos con un equipo HANNA 9828.

Biogás. Semanalmente se toman tres muestras de biogás, en bolsas de Tedlar de 10 litros. Estas muestras se envían al laboratorio del complejo Procesador de Gas (CPG) Cactus 1 de PEMEX, donde se determina la composición del biogás utilizando cromatografía de gases.

3. Resultados

En la figura 1, se muestra el biodigestor, al fondo se observan los 4 reservorios desmontables y en frente, los tubos de recirculación y extracción de sólidos.



Figura 1. Características del biodigestor tipo cúpula

En la tabla 1, se muestran las características generales del biodigestor construido en la DACBiol.

Tabla 1. Características del biodigestor

Características	Unidad de medida
Volumen total de la celda	67.6 m ³
Volumen de llenado al 70%	47.3 m ³
Relación másica (agua/sustrato)	4:1
Producción de Gas Teórica [10]	6625 m ³
Tipo de Operación	Por Lotes o Tipo Bach
Tiempo de retención de diseño	90 días
Temperatura promedio anual de Tabasco	27°C
Vida útil del Proyecto	10 años
Costo del Proyecto	100,000 MN.

En la tabla 2 y 3, se muestra los parámetros fisicoquímicos del sustrato y la composición del biogás.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del sustrato

Parámetros	Promedios		
	30 días	60 días	90 días
Temperatura promedio	28.48°C	30.72°C	32.88°C
pH	6.47	6.99	7.14
Oxígeno disuelto	0.09 ppm	0.22 ppm	0.31ppm

Tabla 3. Composición del biogás

Composición del biogás	Concentración		
	30 días	60 días	90 días
CH ₄	59.34 %	66.18 %	62.89%
CO ₂	30.95 %	30.06 %	31.25%
N ₂	7.35 %	3.27 %	5.275%
O ₂	2.30 %	0.47 %	0.886%
H ₂ S	15 .00 ppm	16.58 ppm	16.38ppm

La temperatura del proceso, es mayor a la temperatura promedio del estado.

Los valores encontrados son mayores para el metano y menores para el dióxido de carbono, según lo reportados por otros autores [5], aunque estos manejan excrementos frescos.

4. Conclusiones

El presente trabajo, permite concluir que se puede adaptar y operar un biodigestor tipo cúpula a las condiciones de la región. El pvc, es un material que se puede utilizar en la construcción de los biodigestores y soporta las altas temperaturas. Si hay influencia de las condiciones meteorológicas en la operatividad de un biodigestor, ya que cuando hay altas temperaturas el biodigestor toma mayor presión. Tabasco, es una región donde la producción de biogás se puede dar por las grandes

cantidades de biomasa disponible. La composición del biogás por cromatografía es de 66.18 para el metano, 30.06 para el dióxido de carbono y 16.58 ppm para el ácido sulfhídrico.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP), a la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, al Complejo Procesador de Gas Cactus de Pemex Gas y Petroquímica Básica y a la Unión Ganadera Regional de Tabasco por los apoyos económicos y facilidades otorgadas para la ejecución de este proyecto de investigación.

Referencias Bibliográficas

- [1] Dias E., Kreling JC. Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. Tesis licenciatura. Universidad EARTH. 2006. Guácimo, Costa Rica. Pp 91.
- [2] Moncayo G. Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y planta de biogás. Manual práctico de diseño. Aqualimpia Beratende Ingenieure. 2008. Pp. 763.
- [3] Kaiser F, Bas F, Gronauer A. Producción de biogás a partir del guano animal: el caso de Alemania. *Agronomía y Forestal UC*, 16 (4): 2002.Pp 4-8.
- [4] Campero R O. Programa “Viviendas autoenergéticas” en Bolivia. Una nueva forma de ver el futuro energético-ambiental del país en el área rural. *Residuos*. 103: 2008. Pp. 74-79.
- [5] Aguilar FX, Botero B R. Estimación de los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. *Tierra tropical*. 2(1) 2006. Pp. 24.
- [6] Quesada R, Salas N, Arguedas M, Botero R. Generación de energía eléctrica a partir de biogás. *Tierra Tropical*. 3 (2). 2007. Pp. 139-147.
- [7] Servian PL, Martínez E, Botero R. Evaluación del tratamiento anaeróbico de aguas residuales ordinarias de la Universidad EARTH para su aprovechamiento energético. *Tierra Tropical*. 5(1). 2009. Pp 67-73.
- [8] Kumar, M.; Humar, S.; Poonia, M.P. Methane, carbon dioxide and nitrous oxide reduction through the application of biogas technology. *Indian Journal of Environmental Health* 42 (3). 2000. Pp. 117-120.
- [9] Meynell, P.J. *Methane: Planning a Digester*. Prism Press. Dorchester, GB. 1982. Pp. 163.
- [10] Tchobanoglous G, Theisen H, A. Vigil S. *Gestión integral de residuos sólidos. Volumen II*. 1ª Edición, 1998, Editorial Mc Graw Hill. España. Pp 1105.