

SEGUIMIENTO DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE BIOGAS EN DIGESTORES DE LABORATORIO MEDIANTE LA CUANTIFICACIÓN DE GASES Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS SIMPLES DE LABORATORIO.

M. Menna¹, J. Branda², G. Murcia², E. Garín, G. Belliski, E. Moschione.
Grupo de Estudio de Energías Alternativas y Ambiente (GEEAA) – Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP)
Av Juan B. Justo N° 4302 Mar del Plata - Tel. 0223-4816600 – Fax 0223-4810046
e-mails: mamenna@fi.mdp.edu.ar, jbranda@fi.mdp.edu.ar, gjmurcia@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN: La gestión integral de los residuos sólidos urbanos tiene entre sus objetivos la minimización y valorización de los mismos. En concordancia con ello, en este trabajo, se promueve la generación de metano, en un biorreactor de pequeñas dimensiones y su acumulación, para uso posterior.

Se propone una metodología de seguimiento del proceso mediante la medición de volumen del biogás generado y análisis de laboratorio de bajo costo, que permiten conocer en forma indirecta las condiciones dentro del reactor, aportando información para la toma de decisiones acerca del avance y finalización del ciclo metanogénico.

Los resultados obtenidos, muestran al equipo utilizado como un sistema adecuado para la evaluación de residuos sólidos como sustrato en la producción de biogás, así como también para la transferencia de conocimientos respecto a la producción y aprovechamiento del metano generado a partir de residuos sólidos, en escuelas e instituciones de Mar del Plata y comunidades vecinas.

Palabras clave: producción de biogás, residuos sólidos, parámetros de laboratorio, monitoreo del proceso.

INTRODUCCION

En nuestros días resulta indiscutida la necesidad de aplicación de una gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GIRSU), sobre todo cuando la legislación toma como objetivo fundamental a la minimización de la generación de residuos y la valorización de los mismos, entendiendo por ello a todos aquellos procesos de reutilización, reciclaje y tratamiento en sus formas químicas, física, biológica, mecánica y energética (LP 13592).

Respondiendo a esa misma propuesta, innumerables líneas de desarrollo tecnológico en todo el mundo tienen como objetivo la recuperación y aprovechamiento del metano, componente combustible del biogás generado en los rellenos sanitarios, a partir de estiércol de diversos animales, y otros residuos sólidos, ricos en materia orgánica biodegradable. El metano es un gas de efecto invernadero (GEI) 21 veces más potente que el CO₂, por lo que su recuperación y aprovechamiento es una actividad prioritaria de los mecanismos de desarrollo limpio (MDL), enunciados por la Convención para el Cambio del Clima de la Organización de las Naciones Unidas (UNFCCC), con el propósito de fomentar la reducción de emisiones de GEI. (Decreto 345/04).

Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación “Estudio de alternativas tecnológicas para la generación y conversión energética biogás-eléctrica” (Código 15G174 UNMDP), el cual busca alternativas a la problemática de la GIRSU en la ciudad de Mar del Plata y su posible transferencia a las comunidades vecinas. En este caso, se presenta un biorreactor de tipo batch, desarrollado a partir de la reutilización de un recipiente de acero inoxidable, acoplado a un dispositivo de medición de volumen de gases, equipo que se completa con la posibilidad de acumulación del producto obtenido en otro recipiente de 13,5 Lts de capacidad, especialmente acondicionado.

Se evalúa la performance del sistema desarrollado, realizando dos experiencias en paralelo, cargando sendos reactores con diferentes sustratos iniciales a base de estiércol vacuno, siguiendo el proceso mediante la medición diaria del biogás generado y análisis de laboratorio en muestras extraídas con una frecuencia constante (48 hs). De este modo se pretende obtener información acerca de las condiciones internas del reactor en forma indirecta, aportando datos acerca del estado de avance del proceso: etapa acidogénica, metanogénica, degradación de biomasa y condiciones del medio interno del biodigestor en general, que posibiliten la toma de decisiones acerca del manejo del reactor

¹ Docente investigador UNMDP, SN CAT III. Maestrando Ingeniería Ambiental.

² Docente investigador UNMDP, SN CAT IV. Maestrando Ingeniería Ambiental.

Los datos obtenidos permiten proyectar una utilización del equipo presentado en próximos ensayos, para evaluar la eficiencia y potencialidad de generación de metano aprovechable por parte de diversos sustratos, teniendo como objetivo principal la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Por otra parte, las dimensiones reducidas del sistema lo hacen ideal para realizar difusión de la temática de recuperación y aprovechamiento del metano generado por la digestión anaeróbica de los residuos sólidos en localidades pequeñas de la zona, que podrían implementar el sistema con importantes beneficios energéticos y sociales.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Se utilizaron dos biodigestores, desarrollados por este grupo de trabajo a partir de un recipiente de acero inoxidable cuyo uso original era la contención de bebidas gaseosas, donados por una empresa local. Los biodigestores poseen una capacidad total de 19 litros, y cuentan con una tapa en su parte superior con cierre hermético, garantizando la ausencia total de intercambio de gases con el medio externo. Estos pequeños tanques cuentan con dos salidas en la parte superior, una de ellas se utilizó como salida del biogás mediante la adaptación de un manómetro de alcance 1 kg/cm² y un llavín para gas, la otra (que comunica con el fondo del recipiente mediante un ducto) se le adaptó otro llavín para utilizarlo como extractor de muestras de sustrato, para la posterior medición de parámetros simples de laboratorio. También se adaptó una rejilla para evitar taponamientos en el caño que vincula el fondo del digestor con el llavín extractor de muestras. Figura 1.

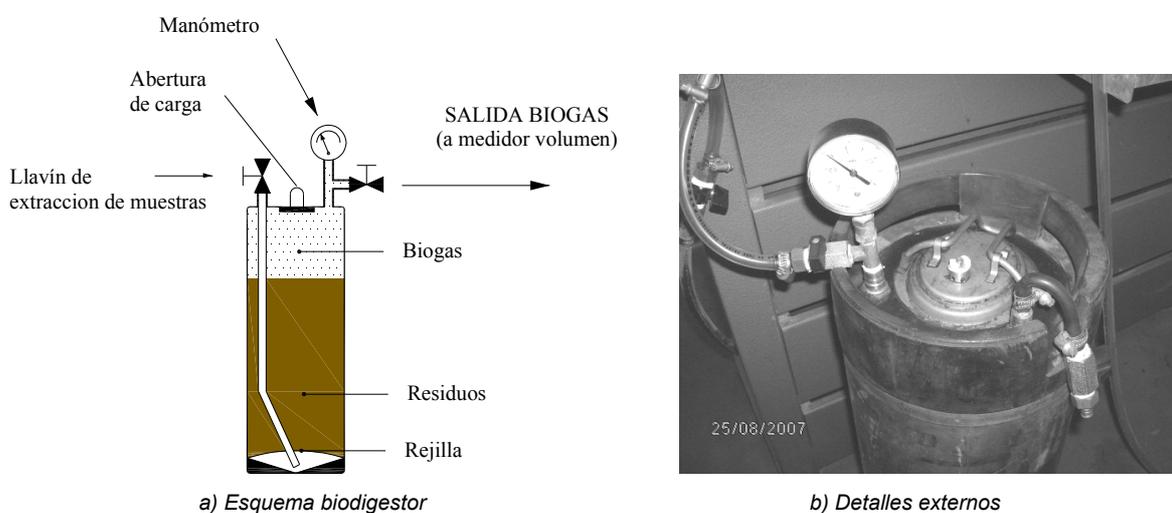


Figura 1. Biodigestor utilizado en la experiencia (diagrama ilustrativo y foto)

A fin de evaluar la performance de los digestores y realizar un seguimiento del proceso mediante la medición del volumen de gas generado y el análisis de algunos parámetros de laboratorio en el lixiviado originado en uno de los dos reactores (R1), los cuales se cargaron con un sustrato base compuesto por estiércol vacuno y agua, utilizando en uno de los casos, una fracción proveniente de un ensayo previo como inóculo inicial. En la tabla 1 se describe la composición en cada uno de los recipientes.

Composición	Reactor 1		Reactor 2	
	kg	%	kg	%
Estiércol vacuno	5.204	40	3.9	30
Agua	7.806	60	5.85	45
Inóculo	0	0	3.25	25
Total	13.01	100	13.00	100

Tabla 1. Composición inicial en los biodigestores R1 y R2.

Se realizó un seguimiento del proceso durante 38 días consecutivos, operando los biodigestores en una modalidad tipo batch, a temperatura ambiente, la cual osciló entre 17 y 25 °C. Se determinó el volumen de gas generado diariamente en cada reactor, así como también la proporción de dióxido de carbono en el mismo utilizando un equipo ORSAT según metodología estandarizada (Standard Methods for Water and Wastewater, 20th Edition, 1998).

Las mediciones del volumen total de gas se efectuaron utilizando un dispositivo especialmente diseñado para este equipo de laboratorio, que consta de dos caños de plástico de PVC de 20 cm de diámetro dispuestos verticalmente, uno de 55 cm de altura (15 litros) y el otro de 100 cm (30 litros), cuatro llavines para gas, dos mangueras de PVC cristal, dos cintas métricas utilizadas como reglas de medición y accesorios de bronce.

El caño plástico de 55 cm de altura conforma un recipiente cerrado, tapado en sus dos extremos con dos tapas que se consiguen comercialmente para dichos caños, mientras que el de 100 cm, esta abierto en su parte superior para permitir el ingreso de aire. El caño de 55 cm tiene en su parte superior una entrada / salida de gas. Ambos recipientes están comunicados por debajo para permitir la circulación de agua, en configuración vaso comunicante, circulación que puede ser restringida por el “llavín de nivelación”. Ambos recipientes de PVC disponen de sendas mangueras de PVC cristal que permite observar el nivel de agua en el interior de los mismos y medir la diferencia de nivel de agua entre ellos, por medio de cintas métricas colocadas para tal fin. Por último, el sistema puede ser vaciado de agua por medio del “llavín de drenaje”. Figura 2.

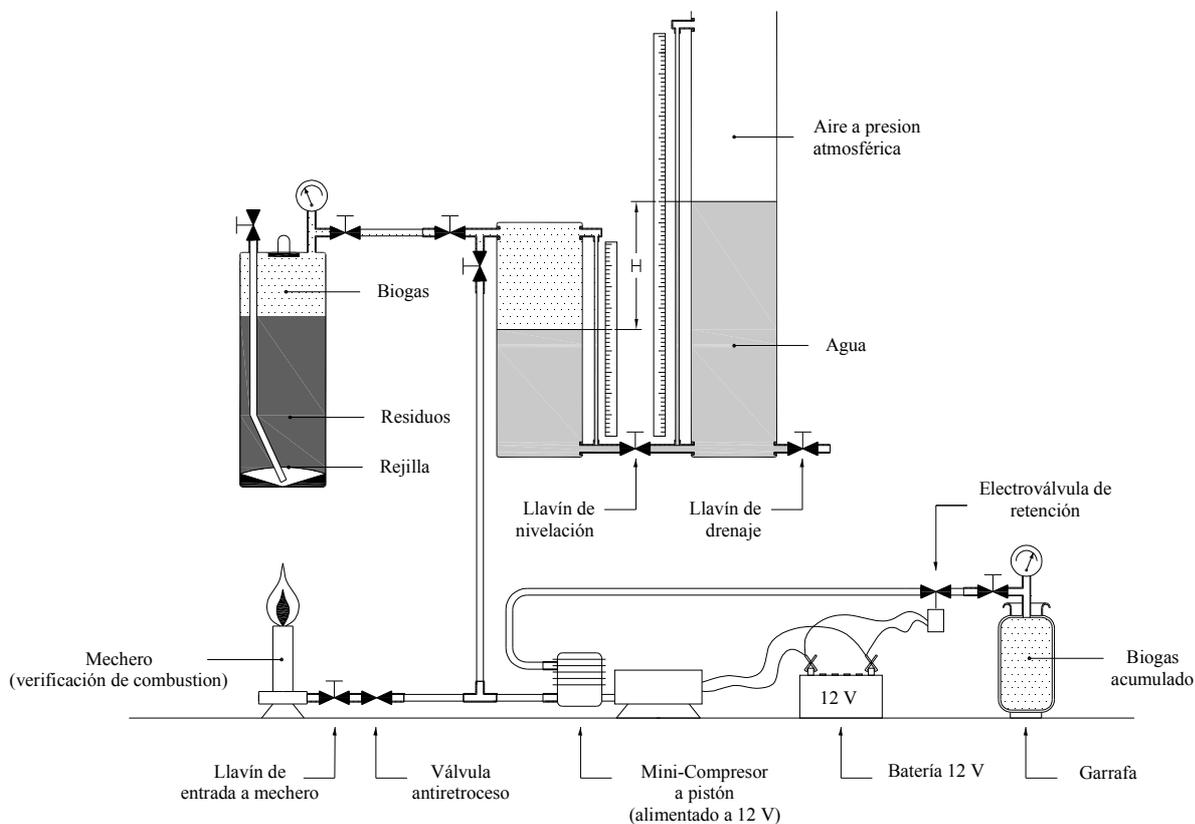


Figura 2. Diagrama del biodigestor conectado al sistema de medición.

El biogás fue acumulado en recipientes de 13,5 litros de capacidad, especialmente acondicionadas para tal fin con un manómetro de alcance 4 kg/cm² y electro válvula de retención normalmente cerrada. La presión necesaria para ingresar el biogás al interior del reservorio se suministró mediante un compresor de pistón alimentado por una batería de 12 V.

Simultáneamente, para el reactor 1, se efectuaron determinaciones de laboratorio en el líquido colectado mediante el llavín de extracción de muestras, cada 48 horas. Los parámetros analizados a modo de control de avance del proceso, incluyen pH, alcalinidad, acidez, sólidos totales y sólidos volátiles, seleccionados tomando como ejemplo ensayos similares, de acuerdo a referencias bibliográficas (Cruz, *et al.* 2004). Los análisis fueron realizados utilizando las técnicas estandarizadas (Standard Methods for Water and Wastewater, 20th Edition, 1998) que se mencionan en la tabla 2.

Parámetro	Técnica analítica
pH	SM 4500 H-B. Método electrométrico
Alcalinidad	SM2320. Método de titulación electrométrica a pH 3.7
Acidez	SM2310. Método de titulación electrométrica a pH 8.3
Sólidos totales	SM 2540 B. Sólidos totales secados a 103-105 °C
Sólidos volátiles	SM 2540 E. Sólidos fijos y volátiles por ignición a 550°C

Tabla 2. Parámetros de laboratorio analizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Composición del sustrato inicial y producción de biogás:

En la tabla 3 se describen las características principales de los sustratos iniciales en los reactores R1 y R2. El inóculo que se adicionó al reactor R2 era material residual de un ensayo anterior realizado en el mismo equipo, se lo consideró potencialmente valioso como aporte de flora bacteriana afín a los procesos de generación de biogás.

Muestra	ST (%)	SV (%)	SV de ST%	Humedad%	Cenizas%
R1	8,0	6,2	77,0	92,0	1,8
R2	8,4	6,2	72,9	91,6	2,3

Tabla 3. Características de los sustratos iniciales en R1 y R2.

La producción de biogás se registró en forma diaria en ambos reactores, obteniéndose los resultados que se observan en la figura 3. El reactor R2, al que se incorporó el inóculo mencionado anteriormente mostró una capacidad de generación de gas inmediata, con combustión del gas producido a partir del segundo día de ensayo, alcanzando una meseta de producción de 68.12 L acumulados en el día 29. El reactor R1 tuvo una tasa de crecimiento de la producción de biogás notablemente menor, registrando sus valores máximos a partir del día 34, con 35.80 L acumulados y combustión a partir del sexto día de ensayo. De este modo queda en evidencia el efecto positivo del agregado de inóculo, permitiendo que el proceso de generación de biogás inicie rápidamente, minimizando el período de latencia y aclimatación de la población bacteriana que se presenta en ausencia del mismo (R1).

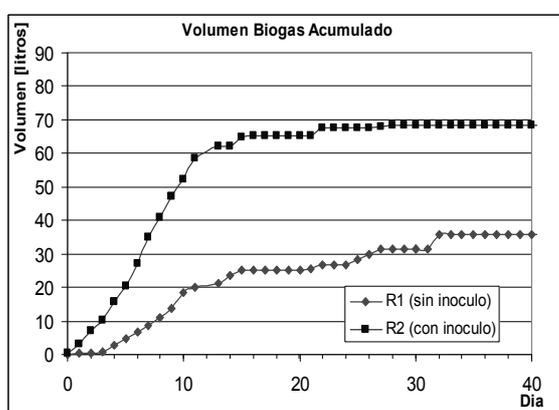


Figura 3. Volumen de biogás acumulado.

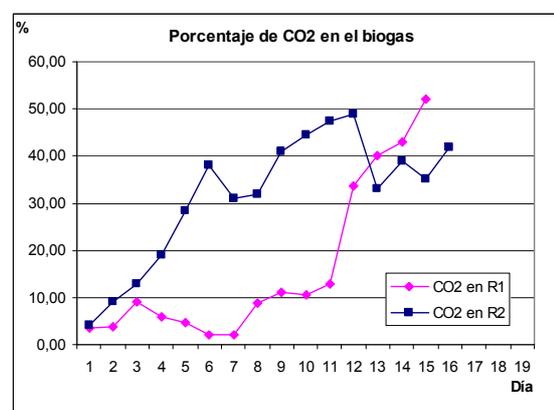


Figura 4. Proporción de CO2 en el biogás.

En cuanto a la composición del biogás colectado, se determinó la fracción de CO₂ en el mismo, observándose un comportamiento creciente que tiende a estabilizarse alrededor del 40%, claramente para R2, como se observa en la figura 4. Se presentan los datos obtenidos en los primeros 20 días del experimento solamente, ya que luego los volúmenes de biogás generados diariamente fueron demasiado pequeños como para ser medidos con precisión. Esta tendencia se corresponde con la producción inicial de CO₂, que normalmente se observa en la etapa acidogénica, y que luego es consumido y también generado en la etapa metanogénica (Tchobanoglous 1994), según los procesos metabólicos que predominan, provocando en este caso, una estabilización neta en su proporción final. En R2, la generación de CO₂ es inmediata al inicio del ensayo, mientras que para R1 la formación de CO₂ se ve retrasada, comportamiento coincidente con la demora en la producción de biogás en este último reactor.

Se continuó con las mediciones de volumen de biogás y CO₂ en los reactores más allá del día 40 del ensayo en forma discontinua. Esos resultados no se exponen aquí ya que no se encontraron variaciones o comportamientos que merezcan mención en este análisis.

Seguimiento del proceso de generación de biogás mediante análisis de laboratorio de bajo costo:

La producción de metano por digestión anaeróbica de residuos sólidos es un proceso muy complejo en el que intervienen numerosas reacciones metabólicas llevadas a cabo por diversos consorcios bacterianos que interactúan en forma secuencial y simbiótica. La complejidad del sistema hace que resulte difícil establecer etapas definidas, por lo que, distintos autores explican el proceso mediante tres o cuatro etapas: Hidrólisis de los compuestos orgánicos más complejos; acidogénesis (etapa fermentativa); acetogénesis (producción de ácido acético, uno de los principales precursores del metano) y metanogénesis (generación de metano a partir de descarboxilación del ácido acético e hidrogenación del CO₂) (Brummeler, 1993). Quienes lo definen en tres etapas hacen referencia a un paso de fermentación, paso intermedio y metanogénesis (Nyns, 1993) o bien describen otras cuatro instancias como: fase de ajuste inicial, de transición, fase ácida y de fermentación del

metano (Tchobanoglous, 1994). Más allá de las diferentes divisiones del proceso que puedan hacerse, este involucra variaciones en algunos parámetros químicos que permiten un monitoreo del avance del mismo, recurriendo a ensayos de laboratorio simples y de bajo costo.

En la figura 4 se observan los parámetros pH, acidez y alcalinidad medidos en muestras extraídas del reactor 1 (R1) cada 48 horas durante los primeros 40 días del proceso. Las tendencias de estos tres parámetros se corresponden con los perfiles esperados en la producción de biogás según la bibliografía específica.

Desde el inicio del ensayo hasta el día 15 se observa una acidificación del medio propia de la etapa acidogénica, con un aumento de acidez y disminución del pH en las muestras. Luego del día 15 esta tendencia se revierte, acompañada de un aumento en los valores de alcalinidad, característico de la etapa metanogénica (Nyns, 1993).

La evolución resulta consistente con la producción de biogás y proporción de CO₂ analizadas anteriormente (Figuras 3 y 4), donde en R1 la producción de biogás comienza a estabilizarse tendiendo a un valor máximo alrededor del día 15, y la proporción de CO₂ alcanza sus valores más altos, a excepción de un corto periodo posterior con valores de CO₂ mayores en el gas producido de modo imprevisto, volviendo luego a la tendencia anterior.

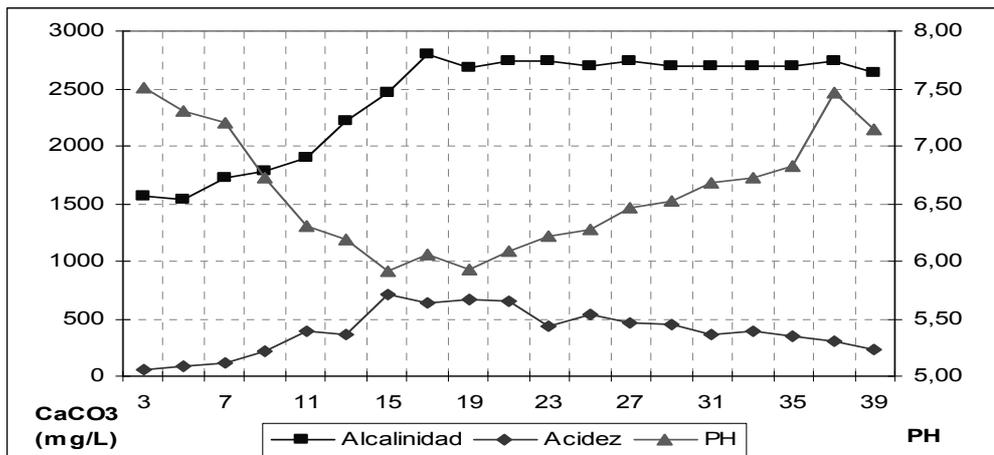


Figura 5. Evolución del pH, alcalinidad y acidez en el biorreactor.

En referencia a la composición de los sólidos en el biorreactor (R1), se observa una proporción constante de cenizas (fracción inorgánica del sustrato), oscilando entre 0.3 y 0.4 % a lo largo de todo el monitoreo. La proporción de sólidos totales (ST), en cambio muestra una marcada tendencia decreciente, acompañados por un perfil idéntico de los sólidos volátiles (SV) según se observa en la figura 6, evidenciando una degradación de la materia orgánica presente en el sustrato utilizada en la producción de biogás.

Como contraparte a la tendencia decreciente en el contenido total de sólidos, se observa un aumento proporcional en el contenido de humedad en las muestras analizadas, propio de la etapa de metanogénesis que tiene a esta molécula como subproducto final en varias de las reacciones de síntesis de metano posibles (Tchobanoglous, 1998)

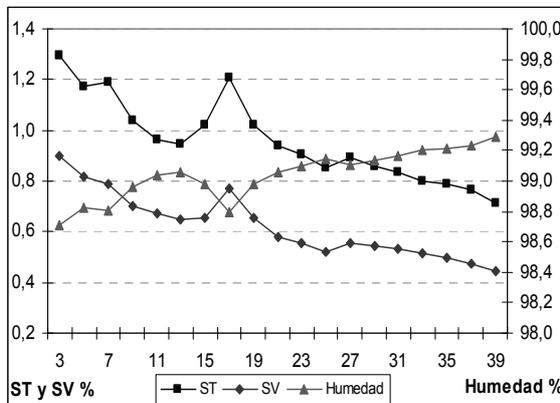


Figura 6. Composición de sólidos y humedad en R1.

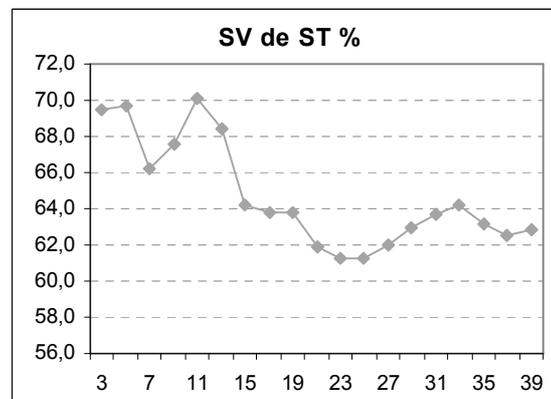


Figura 7. Proporción de SV en los ST.

En la figura 7 puede verse la proporción de sólidos volátiles con respecto a los sólidos totales. Si bien en el gráfico anterior observábamos que sólidos volátiles y totales seguían una misma tendencia decreciente, se presenta un descenso más marcado en la proporción de sólidos volátiles, que constituyen la fracción de sólidos biodegradables del sustrato, respecto a los totales durante la etapa inicial del proceso, indicando un mayor consumo de la materia orgánica disponible en esa fase.

CONCLUSIONES.

El biodigestor desarrollado por este grupo de trabajo resulta sumamente útil y adecuado para el la realización de experiencias a pequeña escala con sustratos metanogénicos, siendo apto para la realización de ensayos posteriores a fin de ajustar el proceso para la fracción orgánica de los RSU de la ciudad de Mar del Plata y otras localidades.

El dispositivo de medición de gases permite obtener datos de volumen total y proporción de CO₂ de fundamental importancia en el monitoreo del proceso y la toma de decisiones con respecto a la finalización del mismo para descargar el equipo y reutilizarlo en otro ciclo.

Si bien la minimización de la etapa de latencia y puesta en marcha para reactores con inóculo no es demasiado importante para el caso de la utilización de estiércol vacuno como sustrato, en el reactor inoculado (R2) se observó una reducción en el tiempo de inicio de los procesos metabólicos metanogénicos, lográndose una mayor velocidad en la generación de biogás.

Los parámetros seleccionados para el seguimiento de los procesos metabólicos que tienen lugar dentro del reactor fueron apropiados, permitiendo observar las condiciones de avance del sistema. Esto será de gran utilidad en ensayos posteriores, en los que se implementen etapas de recirculación de lixiviados y/o ajustes de pH en el medio, permitiendo conocer el momento preciso en que los ajustes deberán ser realizados a fin de maximizar la eficiencia de generación de metano.

El fácil manejo del sistema, las dimensiones y transportabilidad del mismo, le confieren características de uso didáctico, y por lo tanto adecuado para actividades de docencia y transferencia de conocimientos en la temática de producción y aprovechamiento del biogás generado a partir de residuos sólidos en escuelas e instituciones de Mar del Plata y localidades cercanas, incluyendo actividades de valorización de residuos promoviendo micro-emprendimientos productivos.

AGRADECIMIENTOS.

- Laboratorio de Aguas. Obras Sanitarias Mar del Plata S. E. (OSSE)
- Metalúrgica KEEP.
- Industrias Brieva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- APHA, AWWA, WEF. (1994) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition.
- Cruz, M; Plaza, G (2004). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 8, N°1.
- Decreto 345/04. Proyecto de MDL. Programas que tratan del Impacto sobre de Cambio de Clima (Resolución 1125/01), Energía Renovable y Combustibles (Resolución 166/01), y Biofuels (Resolución 1076/01).
- Ley 13592. Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (2006). Provincia de Buenos Aires. Boletín Oficial 2012/06.
- Nyns, E. J. (1993). Biomethanation Processes. Unit of Bioengineering, University of Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium.
- Tchobanoglous, G; Theisen, H; Vigil, S. (1998). Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw-Hill. ISBN 04-481-124.
- Ten Brummeler E. (1993). Dry anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste, Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

ABSTRACT

Integrated Urban Solid Waste Management programmes have minimization and valorisation of waste as main objectives. According to this strategy for development, this paper promotes the production of methane, due to the biological degradation of the organic fraction of solid wastes, in a small bioreactor and the storage of the biogas for further use.

A methodology is proposed for monitoring the process, including volume measurements of the biogas produced, and cheap laboratory parameters, which show, indirectly, the inner conditions in the reactor, giving information to decide about the state and end of the methanogenic cycle.

The results show that the equipment used in this experiment is a proper system for the evaluation of different solid wastes as substrates for biogas production, so as for the transference of knowledge, related to production and use of methane from solid wastes, to schools and institutions from Mar del Plata and neighbour communities.

Keywords: biogas production, solid wastes, laboratory parameters, process monitoring.