



## ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN FORMA DE BIOMASA PARA SU POSTERIOR APROVECHAMIENTO MEDIANTE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.

A.D. Atem<sup>1,3</sup>, M.E. Indiveri<sup>2</sup>, S. Llamas<sup>2</sup> & J.N. Fuentes Berazategui<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Becario Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>2</sup>Instituto de Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

<sup>3</sup>Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

<sup>4</sup>Laboratorio de Biotecnología, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo  
Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo C.C 405 C.P. 5500 – Mendoza – Argentina  
Tel. 0261-4135000 – Int 2187 e-mail: alexis.atem@gmail.com

**RESUMEN:** El presente trabajo aborda la conservación de biomasa residual para su posterior digestión en un reactor anaeróbico de tipo batch. Se utilizaron veinte reactores de PET de 4 litros de capacidad. Para medir la producción de biogás se construyó un dispositivo para tal fin. Como sustrato se utilizaron desechos de la industria del tomate y como inóculo líquido ruminal. Se logró controlar el arranque de la digestión variando la temperatura durante un período de 118 días en donde no se verificó la producción de biogás. Luego se reinoculó con líquido ruminal estabilizado y después de 34 días se obtuvo biogás.

**Palabras clave:** Biogás, Biocombustibles, Biomasa, Anaerobio, Residuos

### INTRODUCCION

#### *Objetivo.*

El objetivo del presente trabajo es presentar los avances que se han obtenido en el proyecto “Inoculación de biomasa para la producción de biogás”. En dicho trabajo se busca poder controlar los tiempos de producción de biogás a partir de residuos agroindustriales. Se trata de tener control del momento de inicio del proceso, de forma tal de poder almacenar energía en forma de biomasa en vez de almacenarla en forma de gas, ya que el volumen requerido para tal fin es aproximadamente cien veces menor. Para ello se requiere conservar la biomasa en forma tal que luego pueda ser utilizada para la producción de biogás. Según Ramírez (1996), la puesta en marcha del proceso es un paso crítico en la digestión.

Debe tenerse en cuenta que la agroindustria produce sus residuos en verano, pero su demanda energética insatisfecha se encuentra en invierno.

#### *Importancia del tema*

Uno de los mayores problemas con los que actualmente se enfrenta la comunidad internacional es el calentamiento global, producido por las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Otro serio problema que enfrenta la humanidad es el tratamiento de residuos urbanos e industriales. La proliferación de vertederos que no cumplen los requisitos técnicos esperados, hacen que estos residuos terminen contaminando suelo, agua y atmósfera. Además de estos problemas, en países en vías de desarrollo se observan graves problemas sociales y sanitarios en asentamientos cercanos a los vertederos.

Por otra parte, el agotamiento de las reservas de los combustibles fósiles hace que los precios de la energía estén en aumento, lo que comienza a hacer económicamente atractivos aprovechamientos alternativos de energía. En Argentina es de reciente promulgación la Ley 26.093, que establece el Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles (12/05/06); la misma tendrá una vigencia de 15 años y establece en su Art. 13 que “Todos los proyectos de radicación de industrias de biocombustibles, gozarán los beneficios que se prevén en la presente ley,....”. (HCN, 2006).

El presente trabajo informa sobre el control del arranque a escala laboratorio. Según Montalvo y Guerrero (2003) los parámetros que influyen en la puesta en marcha son de índole física, biológica y química, tales como temperatura, pH composición del residuo, adaptación y actividad del inóculo, configuración y volumen del reactor, entre otros. Se ha trabajado sobre la agitación, la influencia de la luz, el estado de agregación del sustrato y de la inoculación, es decir, la introducción de microorganismos en cantidad y calidad, de tal forma que se garantice el arranque satisfactorio del reactor, de forma tal de obtener biogás en el momento que realmente se requiera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Sustrato e Inóculo.*

El sustrato a partir del cual se trabajó fue residuo de tomate, compuesto principalmente por pepita y epicarpio. La muestra fue tomada de una industria local y transportada en envases plásticos. Fue congelada durante 24 horas hasta su utilización. Como primer inóculo se utilizó líquido ruminal fresco proveniente de un matadero local. Como segundo inóculo se utilizó el mismo líquido ruminal antes utilizado, pero fue estabilizado a temperatura ambiente durante 110 días.

### *Determinación de Sólidos Secos*

Se determinó a partir de una muestra representativa de 100 gramos. En el caso de que el sustrato no sea líquido, se coloca sobre la mesa el sustrato y se realiza un cuarteo, hasta llegar a tener 100 g de muestra, los cuales fueron pesados en un crisol, ya previamente tarado.

Se colocó la muestra en horno a 105°C hasta peso constante y se calculó como se indica en la Ecuación 1.

$$\%SS = \frac{m_{\text{seca}}}{m_{\text{húmeda}}} \times 100 \quad (1)$$

Para tener una idea aproximada, a partir de un 12% de sólidos secos, el sustrato se encuentra en forma de barro.

### *Determinación de Sólidos Volátiles*

La muestra utilizada para determinar el contenido de sólidos secos, se colocó en una mufla a 550°C, hasta obtener peso constante. Es importante que no queden partes rojas (indicio de que aún hay oxidación). El proceso duró aproximadamente 5 horas. Es conveniente abrir frecuentemente la puerta de la mufla para obtener una entrada discreta de oxígeno. La muestra tendría que quedar como se observa en la figura 1.



Imagen 1. Muestra de cenizas utilizadas para determinar Sólidos Secos y Sólidos Volátiles.

Para determinar el porcentaje de sólidos volátiles, se utilizó la ecuación 2.

$$\%SV = \frac{(m_{\text{seca}} - m_{\text{cenizas}})}{m_{\text{seca}}} \times 100 \quad (2)$$

### 1.1 Entorno.

Las experiencias se llevaron a cabo en veinte reactores de PET transparente, de cuatro litros de capacidad cada uno. Fueron sellados con silicona. La salida de los mismos consiste en un adaptador fondo de tanque de ½", con una válvula esférica. En experiencias anteriores se había seleccionado vidrio, de manera tal de poder observar como se desarrollaba el proceso, pero el vidrio no soportó la presión ejercida y estalló. Los reactores fueron dispuestos en un baño termostático a 37°C, según se observa en la figura 2. El arreglo sigue un orden matricial, en donde las distintas filas reflejan lo siguiente:

- Fila A: La carga fue procesada por medio de una minipimer y fueron agitados durante toda la experiencia.
- Fila B: La carga fue procesada por medio de una minipimer y no fueron agitados durante toda la experiencia.
- Fila C: La carga fue procesada por medio de una minipimer, fueron agitados durante toda la experiencia y fueron cubiertos para observar la influencia de la luz.
- Fila D: La carga no fue procesada y fueron agitados durante toda la experiencia.

A - 0	A - 1	A - 2	A - 3	A - 4
B - 0	B - 1	B - 2	B - 3	B - 4
C - 0	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4
D - 0	D - 1	D - 2	D - 3	D - 4

Tabla 1: Distribución de los reactores en el baño termostático

Cada columna refleja la concentración de inóculo, siendo el reactor 0 sin inoculación; el 1 se inoculó con un 10% de líquido ruminal, el 2 con 20%, el 3 con 30% y el 4 con 40% del peso del sustrato. En la figura 3 se puede observar la experiencia montada.



Imagen 2: Disposición de reactores en baño termostático.

## 1.2 Carga de reactores

Para calcular la proporción de sustrato, de agua e inóculo, se utilizaron las siguientes restricciones:

- El peso total de sustrato, agua e inóculo fue de 1000 gramos.
- El porcentaje de sólidos totales dentro del digestor fue de 15%. Para ello se tuvo en cuenta la cantidad de sólidos totales del sustrato y del inóculo.
- La relación inóculo/sustrato, varió desde 0% a 40%, dependiendo de la columna en que estaba ubicado el reactor.

## 1.3 Intervenciones

### 1.3.1 Agitación

Los reactores fueron agitados los días lunes, miércoles y viernes, durante la tarde. La agitación se hacía en forma manual, retirando los reactores del baño, formando circunferencias horizontales en el aire, durante 30 segundos en un sentido y 30 segundos en sentido contrario.

### 1.3.2 Temperatura

Antes de la reinoculación, la temperatura se mantuvo constante a 37° C durante 5 días de la semana y luego se la dejaba que baje hasta temperatura ambiente. Esto se realizaba con el objeto de evitar que las bacterias metanogénicas comiencen su actividad. Una vez reinoculados, los reactores se mantuvieron siempre a 37°C.

### 1.3.3 Medición de volumen de gas.

Las mediciones de volumen de biogás se realizaron mediante un dispositivo construido para tal fin, siguiendo las recomendaciones de Menna.[1]. El equipo consta de dos caños de PVC colocados verticalmente, uno de ellos de 0,50 m de altura y cerrado en ambos extremos y el otro de 1 m de altura, abierto en la parte superior, alcanzando aproximadamente 15 y 30 litros de capacidad respectivamente. Para visualizar el desnivel de agua provocado por la presión del biogás, se adaptaron en cada uno de estos tubos verticales, una manguera transparente de PVC cristal. Ambos tubos dispuestos a la par, se comunican por sus extremos inferiores, en configuración vasos comunicantes, conformando un barómetro de tubo abierto, por lo que además del volumen, el dispositivo proporciona en todo momento el valor de la presión interna del reactor. En la imagen 3 se observa el dispositivo.

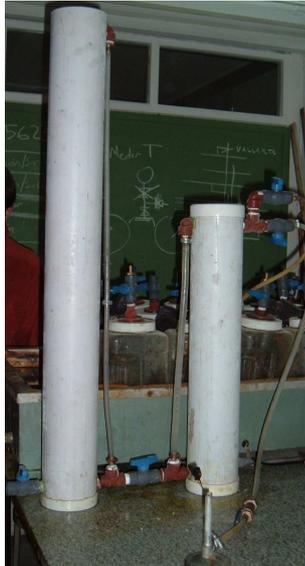


Imagen 3: Dispositivo de medición de volumen

Para comprobar la producción de metano, se procedió a testear si el biogás encendía en un mechero adaptado a los reactores. El biogás obtenido era forzado a pasar por un filtro con limaduras de hierro para quitar el ácido sulfhídrico que tuviese.

#### 1.3.4 Mediciones

Se midió una vez por semana el pH, la alcalinidad y la acidez.

#### 1.3.5 Reinoculación

Se reinocularon los reactores de la serie 2 para ver si se podía generar biogás a partir de este residuo almacenado durante un período de 118 días. Se utilizó líquido ruminal estabilizado a temperatura ambiente para la reinoculación. El volumen de inóculo agregado fue del 10% del peso del contenido del reactor, es decir, 100 gramos. Para tal fin se procedió a la apertura de los reactores.

## RESULTADOS

La cantidad de sólidos totales y volátiles se puede ver en la tabla 2. En base a estos resultados se cargaron los reactores.

	ST%	SV%
<b>Tomate</b>	17,28%	93,62%
<b>Inóculo</b>	3,39%	80,65%

Tabla2: Sólidos totales y sólidos volátiles.

Durante los primeros meses se obtuvieron gases incombustibles como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S que fueron cuantificados. Debido a las variaciones de temperatura a las que se sometieron los reactores, no se produjo metano. Esto es porque las bacterias metanogénicas son sensibles a los cambios de temperatura, mientras que las bacterias acidogénicas no lo son. (Groppelli y Giampaoli, 2001). Éstas continúan produciendo ácidos, haciendo que el pH baje, lo que impide que la metanogénesis se lleve a cabo.

Luego de reinocular los reactores de la serie 2, el pH y la alcalinidad comenzaron a incrementarse, mientras que la acidez volátil disminuyó. Esto fue debido a la actividad de las bacterias metanogénicas y microorganismos asociados. Se produjo biogás combustible después de 118 días de inocular y a los 34 días de reinocular. Esto demuestra que se pueden almacenar los residuos con bajo pH para luego obtener biogás.

En el gráfico 1 se observa el comportamiento de los reactores de la serie 2. Allí se nota como la producción de gas primero disminuye hasta que es reinoculada. Luego de la reinoculación se puede observar como se incrementa la producción de biogás y el porcentaje de metano, ya que empieza a ser combustible.

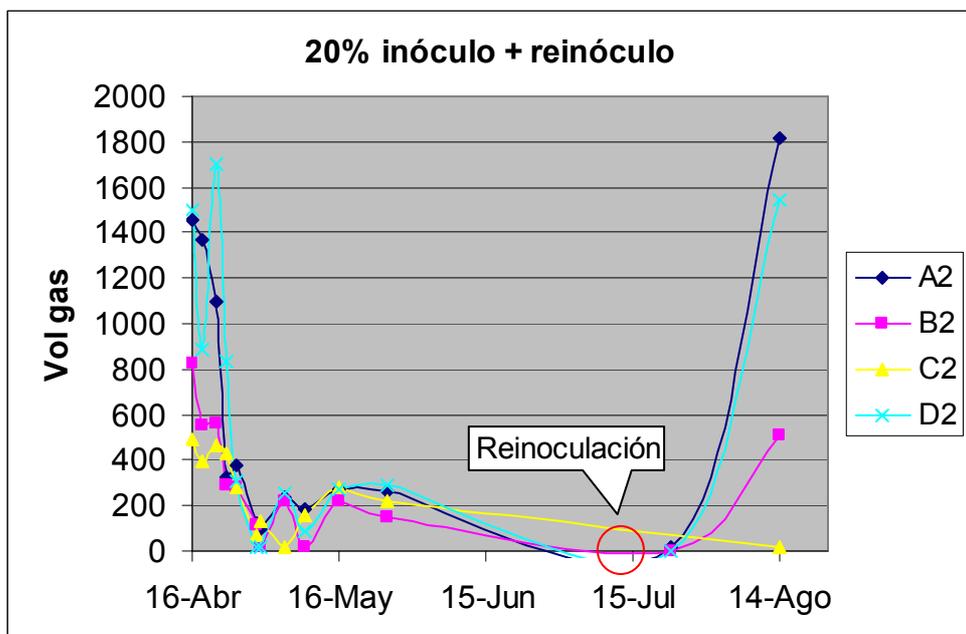


Gráfico 1: Producción de biogás

En el gráfico 2 se observa el comportamiento de la acidez, la alcalinidad y el pH, del reactor D2.

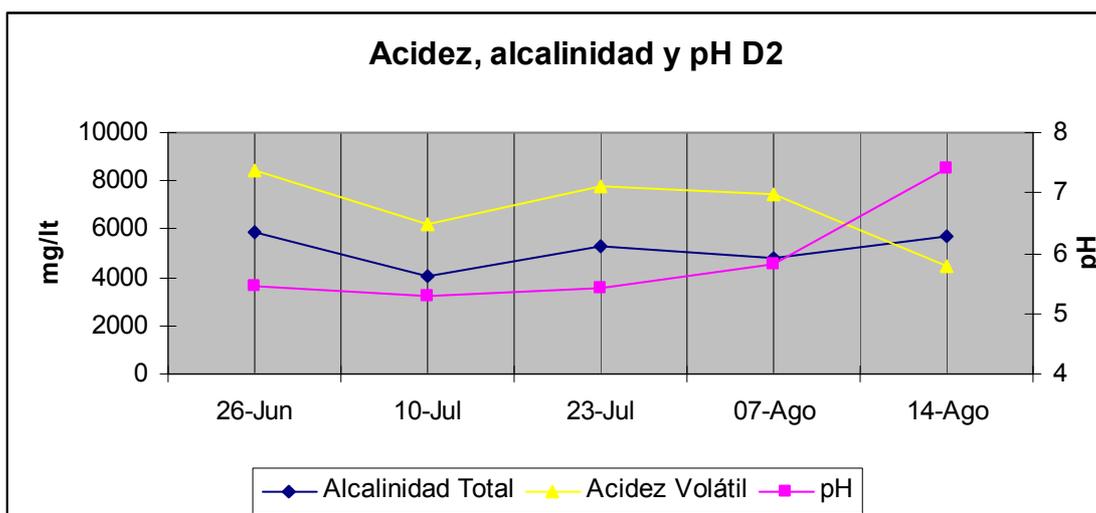


Gráfico 2: Acidez alcalinidad y pH del reactor D2

## CONCLUSIONES.

Se ha podido conservar biomasa en condiciones tales que permite su posterior uso como sustrato para la producción de biogás. Se ha utilizado como parámetro principal la variación de temperatura, de forma tal de que las bacterias acidogénicas continúen funcionando, mientras que bacterias metanogénicas sean interrumpidas. Esto es debido a que las bacterias metanogénicas son sensibles a los cambios de temperatura, mientras que las acidogénicas no. Además, el ácido producido por las bacterias acidogénicas hace que baje el pH, impidiendo también el normal desarrollo de la metanogénesis.

Este esquema de producción se cree válido sólo para casos especiales, como es el caso de las agroindustrias de Mendoza, las cuales producen sus residuos durante el verano, pero tienen necesidades energéticas insatisfechas durante el invierno. Por otro lado, en la provincia de Mendoza existen piletas de concreto y epoxi desocupadas, situadas en bodegas que han reemplazado las mismas por uso de vasijas de acero inoxidable.

Los pasos siguientes del equipo es cuantificar la producción del biogás producido y valorar la capacidad del efluente como mejorador de suelos, de forma tal de poder hacer un adecuado análisis técnico económico.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la ayuda a los alumnos e integrantes del Instituto de Medio Ambiente que colaboran en el proyecto y a todo el Laboratorio de Análisis Químicos de la Facultad de Ingeniería.

## REFERENCIAS

### Artículo

L. F. Ramírez; F. Molina; O. Rojas; D. Alazard. (1996). Evaluación de potenciales semillas para la inoculación de reactores anaerobios. En Memorias IV Seminario-Taller Latinoamericano sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales; 33-44, Bucaramanga, Colombia.

M. Menna<sup>1</sup>, J. Branda<sup>2</sup>, G. Murcia<sup>2</sup>, E. Garín, G. Belliski, E. Moschione. (2007). Metodología de bajo costo para la cuantificación de biogás en biodigestores de laboratorio. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 11, 2007.

### Libros

Montalvo, S. & Guerrero, S. (2003). Tratamiento Anaerobio de Residuos. Producción de Biogás. Universidad Técnica Federico Santa María. pp: 161. Valparaíso. Chile.

E. Gropelli y O. Giampaoli. (2007). El camino de biodigestión. Editorial Universidad Nacional del Litoral.

## ABSTRACT

This paper shows an experience of conservation of biomass waste for subsequent anaerobic digestion in a batch type reactor. Twenty PET 4 liters capacity reactors were used. A device was built for measuring the biogas production. As substrate tomato factory wastes were used and rumen fluid was used as inoculum. Digestion start up was able to be controlled by varying the temperature, over a period of 118 days in which it was not verified biogas production. After reinoculated with stabilized rumen fluid, biogas production was verified.

**Keywords:** Waste, Biogas, Anaerobic, Biomass.

---