

## BIODIGESTORES PARA PEQUEÑAS EXPLOTACIONES RURALES

CLAUDIA ELISABETH DIAZ YANEVICH

Prof. Adjunta de Termodinámica. Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAus). Argentina

[claudiady@uncaus.edu.ar](mailto:claudiady@uncaus.edu.ar)

DANIEL ORLANDO BRACHNA

Prof. Titular de Química. Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAus). Argentina

[dob@uncaus.edu.ar](mailto:dob@uncaus.edu.ar)

EDUARDO HRYCZYŃSKI

Prof. Titular de Máquinas Térmicas. Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAus). Argentina

[ehry@uncaus.edu.ar](mailto:ehry@uncaus.edu.ar)

WALTER GUSTAVO LÓPEZ

Vice-Rector, Prof. Titular de Proyecto Industrial. Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAus). Argentina

[walgus@uncaus.edu.ar](mailto:walgus@uncaus.edu.ar)

CÉSAR NICOLÁS SÁNCHEZ

Jefe de Trabajos Prácticos de Termodinámica. Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAus). Argentina

[cesar@uncaus.edu.ar](mailto:cesar@uncaus.edu.ar)

### LÍNEA TEMÁTICA

Casos y/o modelos de desarrollo y promoción de nuevas tecnologías con impacto en el desarrollo social e industrial.

### RESUMEN EJECUTIVO

Uno de los problemas que enfrenta el sector productivo es el manejo inadecuado de los residuos producidos. Estos materiales habitualmente se eliminan sin tratamiento, ni aprovechamiento alguno, por lo que pueden constituirse en agentes contaminantes; afectando a los ecosistemas, alterando el equilibrio ecológico y la calidad de vida.

Una alternativa para el manejo de los mismos, consiste en convertirlos en materia prima para la alimentación de biodigestores. En estos dispositivos, se desarrolla un proceso de transformación anaeróbico, en el cual intervienen un grupo de bacterias que transforman dicha materia en compuestos más sencillos y estables; entre ellos, una mezcla de gases denominada biogás y un efluente líquido que se utiliza como fertilizante orgánico.

Teniendo presente que la región se caracteriza por la presencia de establecimientos productivos a baja escala, se diseñó y construyó un biodigestor de carácter demostrativo y de baja capacidad con un sistema integrado de control de parámetros, instalado en un establecimiento dedicado a la producción porcina y que será adaptado a un mayor nivel de producción en función de los requerimientos.

Mediante la incorporación de este dispositivo se espera que estas pequeñas explotaciones rurales logren transformar los residuos generados, que actualmente son despreciados, en energía.

Palabras Claves: Efluente - Biodigestor - Biogás.

## ABSTRACT

Improper handling of industrial wastes constitute a frequently issue in the productive sector. This materials are commonly wasted without further treatment, becoming in important pollutants, which impact on the environment and modify the ecological balance and the life quality. Using waste materials as substrates for bioconversions, arises as an alternative for its final disposal. In bioreactors, bacteria could perform the anaerobic transformation of organic compounds to simpler and more stable compounds, as gas mixture or *biogas*, and a liquid effluent which could be used as fertilizer. Considering the presence of numerous small scale industries in this region, a prototype low capacity bioreactor was developed with demonstrative purposes, able to be scaled up, depending on the requirements. The reactor was equipped with an integrated parameters control system and installed in a pig breeding. The use of this kind of bioreactors would allow small rural farms the sustainable energy production from a currently wasted residues.

Key Words: Effluent - Biodigester - Biogas.

## Introducción

En los últimos años se ha generado un incremento de actividades relacionadas con la crianza animal, particularmente la porcina, con el objetivo de diversificar la matriz productiva. En paralelo a este desarrollo, han surgido inconvenientes relacionados al manejo adecuado de los residuos.

La tecnología más comúnmente aplicada por este sector pecuario para tratar sus aguas residuales son lagunas de oxidación. La gran mayoría de las instalaciones no cuenta con sistemas de aireación o diseños que permitan acelerar la digestión de la materia orgánica presente. Por lo tanto, estos sitios representan un serio foco de infección, emiten cantidades importantes de amoníaco y ácido sulfhídrico a la atmósfera; además, importantes escurrimientos terminan infiltrando altas concentraciones de amonio a los acuíferos de la zona colindante. La contaminación implica no solo un deterioro del ambiente, sino también una fuga de energía y nutrientes, lo cual, a la postre, significa un desaprovechamiento de los recursos (Cervantes et al., 2007).

Este tipo de explotaciones son criticadas por los impactos ambientales negativos que causan sobre distintas fuentes, aire, agua, etc. y como tal, deben dar cumplimiento de las normativas vigentes.

La biodigestión es un proceso anaeróbico de las bacterias que ya habitan en las heces para transformar los residuos en compuestos más sencillos y estables; entre ellos, una mezcla de gases denominada *biogás*, compuesto mayoritariamente por metano y dióxido de carbono, y trazas de nitrógeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno (Hilbert J., 2003).

El proceso de biodigestión se compone de tres fases principales, como ser, la acidogénesis, la acetogénesis y la metanogénesis (Figura 1) (Guevara Vera, 1996).

La biodigestión anaeróbica para degradar los residuos orgánicos y/o producir biogás, al ser un proceso biológico, necesita condiciones ambientales propicias y un manejo adecuado para que el sistema funcione eficientemente, desde que se carga el biodigestor hasta la producción del gas y salida del efluente. El control de parámetros que inciden en el desarrollo del proceso es para mantenerlos en determinados rangos para lograr óptimos rendimientos en la producción de metano.

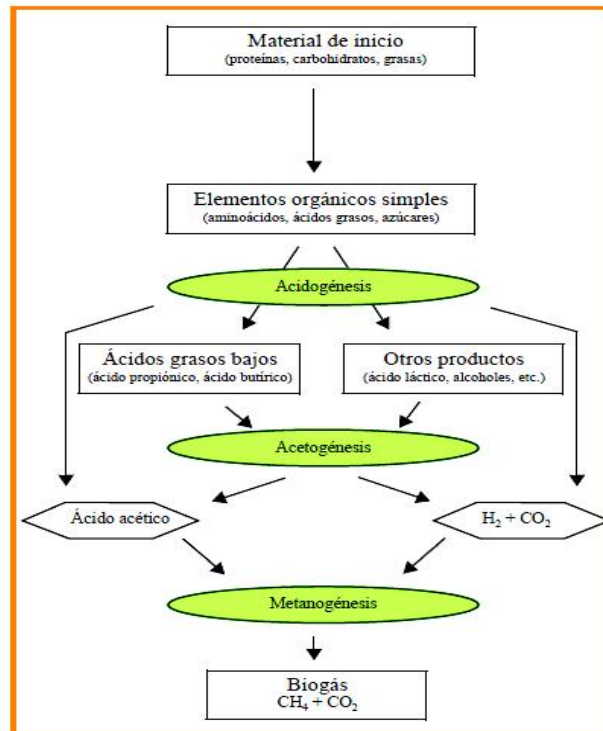


Figura 1. Representación esquemática de la descomposición anaeróbica.  
Fuente: Groppelli, 2001

Por lo tanto, es necesario idear estrategias que permitan transformar y/o reutilizar estos recursos, con el fin de agregar valor y contribuir a una producción más responsable.

### Marco Teórico o Contexto Tecnológico

Uno de los procesos más importantes en los ecosistemas se genera cuando la materia orgánica muerta, procedente de animales y plantas, es transformada por acción de bacterias a formas químicas estables y asimilables por los productores primarios.

El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican la transformación de estas fuentes orgánicas, convirtiéndolas en productos con valor económico. El aprovechamiento de este material orgánico ha recibido en el último tiempo un fuerte impulso a consecuencia del elevado costo de los fertilizantes químicos, y la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos (FAO, 2011).

Cuando estos procesos se llevan a cabo de manera controlada con los residuos orgánicos provenientes de actividades antropogénicas, se los conoce como tratamientos biológicos.

Un tratamiento biológico es una operación o conjunto de operaciones que cambian las características físicas, químicas o biológicas de un residuo con el objetivo de neutralizar las sustancias tóxicas, recuperar materiales valorizables, facilitar su uso como fuente de energía o favorecer su disposición final (Bonmatí et al., 2007).

Cuando este tratamiento se lleva a cabo anaeróbicamente, los residuos orgánicos son degradados obteniéndose como productos finales biogás (Tabla 1) y un efluente o lodo más estable que el residuo inicial.

Tabla 1. Características generales del biogás

Composición	55 – 70 % metano (CH <sub>4</sub> ) 30 – 45 % dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750 °C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	- 82.5 °C
Densidad	1.2 kg m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol <sup>-1</sup>

Fuente: Deublein y Steinhauser (2008)

Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica. La calidad y la cantidad del biogás producido dependerá de la composición y la naturaleza del residuo utilizado.

Uno de los parámetros a analizar es la relación Carbono/Nitrógeno, entre otras sustancias presentes, donde el carbono y el nitrógeno son las fuentes de alimentación de las bacterias. El carbono es la fuente de energía, mientras que el nitrógeno es necesario para la síntesis de proteínas. Los dos son primordiales para el crecimiento y reproducción de las bacterias. La relación C/N, expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que tiene un material orgánico y es la medida del balance óptimo de nutrientes que tiene un material orgánico. Se considera que una relación de 20:1 hasta 30:1 es aceptable (Guevara, 1996) para lograr la mayor productividad de biogás. Además de los nutrientes analizados, las bacterias anaeróbicas necesitan de otros elementos en menor proporción tales como calcio, fósforo, azufre, potasio, magnesio, sodio y otros en concentraciones trazas, elementos tales como el cobalto, cobre, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, vanadio y zinc.

El tamaño de las partículas también influye sobre la velocidad de generación de biogás. Por lo cual, resulta adecuada una matriz con el menor tamaño particular posible, con el finalidad de favorecer la conversión (Corleto et al., 2008).

La materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida, denominada sólidos totales (ST). El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla de carga es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente.

Experimentalmente se ha demostrado que la carga en digestores semicontinuos debe estar en un rango de 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar un buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos (40 % a 60 %) de sólidos totales (FAO, 2011).

Durante la evolución del proceso, se producen numerosas reacciones metabólicas con microorganismos de distintas poblaciones que difieren en sus características nutricionales e interactúan de forma secuencial y simbiótica. Así, los productos finales resultantes de la actividad metabólica de una generación de microorganismos son utilizados como alimento o fuente de energía por otra generación de microorganismos. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

El proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica presenta cuatro fases o etapas (Figura 2):

Hidrólisis → Etapa acidogénica → Etapa acetogénica → Etapa metanogénica

En la primer fase, de hidrólisis, las partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios.

En la segunda fase o etapa, llamada acidogénesis, tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos químicos simples, compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico,  $H_2$ ) y otros compuestos como ser (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso (Cervantes et al., 2007).

En la tercer etapa, acetogénica, mientras algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por organismos metanogénicos ( $H_2$  y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato ( $CH_3COO^-$ ) e hidrógeno ( $H_2$ ), a través de las bacterias acetogénicas.

En la cuarta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, lleva a cabo la metanogénesis mediante dos tipos de reacciones; la acetoclástica, que consiste en la descarboxilación del ácido acético, y la hidrogenotrófica que consiste en la reducción del  $CO_2$  con  $H_2$  (Rodríguez Rodríguez et al., 1993).

La fase acetogénica es la etapa limitante para la descomposición final. La cantidad y composición de gas que se genera se determina por la concentración de los sustratos metanizables. La etapa de formación acética es la parte más difícil del proceso de digestión de polímeros fácilmente degradables, pero también puede ser la etapa de hidrólisis el paso limitante para constituyentes pobremente biodegradables. Sólo los polímeros pueden ser fácilmente transformados por los organismos de fermentación, a sustancias fácilmente susceptibles de atacar por grupos de bacterias sucesivas, para completar la descomposición a  $CO_2$  y  $CH_4$  (Rodríguez et al., 1993).

Los factores que afectan el diseño del biodigestor y el proceso de biodigestión son los que se detallan a continuación:

Capacidad del digestor:

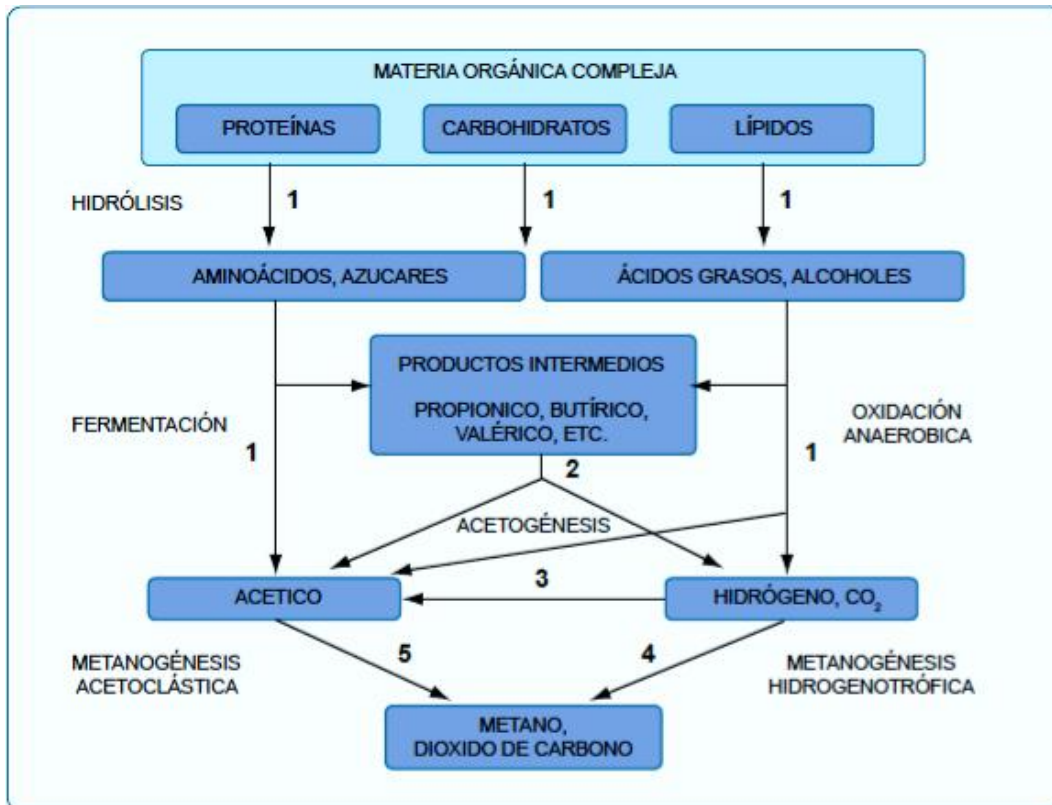
- Tiempo de residencia celular o velocidad de alimentación (de 30 a 60 días o de 10 a 20 días para los equipados con calefacción).
- Carga volumétrica ( $Kg. SSV/m^3.d$ ).
- Concentración de sólidos totales del material a alimentar al biodigestor.
- Variación observada en los SSV (Sólidos Suspendidos Volátiles)

Diseño y control del proceso:

- Control de la temperatura: La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Entre 25 y 65°C para los rangos

mesofílicos y termofílicos. La velocidad máxima de crecimiento es mayor, conforme aumenta el rango de temperatura.

- Calentamiento a través de intercambiadores de calor internos o externos o por inyección de vapor.



Ref.: 1–bacterias fermentativas; 2–bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3–bacterias homoacetogénicas; 4–bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5–bacterias metanogénicas acetoclásticas.

Figura 2. Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos

Fuente: Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991

Mezclado:

- Mantiene activo el contacto entre la biomasa y los lodos.
- Crea uniformidad física, química y biológica dispersando cualquier sustancia química o producto de la metabolización de la materia orgánica. Previene la formación de nata superficial.

Producción y utilización del gas.

Se pueden considerar tres formas de utilización del biogás generado por digestión anaerobia:

- Aplicación directa como fuente de calor (cocina, alumbrado).
- Combustión en calderas de vapor convencionales aprovechando el calor para calentar el digestor y para calefacción en general.
- Utilización como combustible en motores de combustión interna acoplados a generadores de electricidad.

## Hipótesis

El diseño y construcción del biodigestor con sistema integrado de control de parámetros, permitirá optimizar el proceso de biodigestión en residuos de pequeñas explotaciones rurales.

## Objetivo

Los objetivos de este trabajo son:

Determinar los parámetros físicos y químicos de control del proceso de biodigestión.

Diseñar un biodigestor, tipo modular, con control de parámetros del proceso, enfocado a pequeñas explotaciones rurales.

Construir, a escala demostrativa, un biodigestor con control de parámetros del proceso.

## Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se efectuó un análisis de parámetros a controlar dentro del proceso de biodigestión. Estos se agrupan en relación a:

- Materia prima a tratar
- Condiciones ambientales del proceso
- Condiciones de operación del proceso

Posteriormente se llevó a cabo el diseño y la fabricación del biodigestor en las etapas que se detallan a continuación:

- 1) Diseño y construcción de reactor
- 2) Incorporación de sistemas de medición de variables.
- 3) Puesta a punto del equipo.

## Resultados

Los parámetros relacionados con las condiciones de operación del proceso son los que se detallan en la Tabla 2.

*Tabla 2. Parámetros a controlar dentro del proceso de biodigestión*

Materia Prima a Tratar	Condiciones Ambientales del Proceso	Condiciones de Operación del Proceso
-Relación carbono/nitrógeno y contenido de otros nutrientes -Tamaño de las partículas -Concentración de sólidos	-Potencial redox -Temperatura -pH y alcalinidad -Presencia de inhibidores	-Agitación -Utilización de inóculos -Velocidad de carga volumétrica -Tiempo de retención hidráulica

Fuente: Elaboración Propia



En términos generales, se pueden clasificar los sustratos en cuatro clases en función de su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas, como el porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO), como puede apreciarse en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de sustratos para la Digestión Anaeróbica

Características	Clase	Tipo de Sustrato	Características Cuantitativas
Sólido	1	Basura Doméstica Estiércol Sólido Restos de Cosecha	> 20 % ST 40-70 % Fracción Orgánica
Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	2	Heces Animales	100-150 g/l DQO 5%-10% ST 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)	3	Heces Animales de cría y levante diluido con agua de lavado Aguas residuales de mataderos	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS
Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión	4	Aguas residuales de agroindustrias Aguas Negras	5-18 g/l DQO 4-500 g/l DQO

Fuente: Esguerra, 1989

En el proceso de conversión, fase metanogénica, intervienen bacterias anaeróbicas estrictas, de reproducción lenta y muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura (Figura 3). En dicha transformación intervienen bacterias del tipo mesofílicas (20 °C a 40 °C) y las termofílicas (más de 40 °C), generando una mezcla gaseosa (biogás) constituida fundamentalmente por metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y pequeñas cantidades de hidrógeno (H<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y nitrógeno (N<sub>2</sub>).

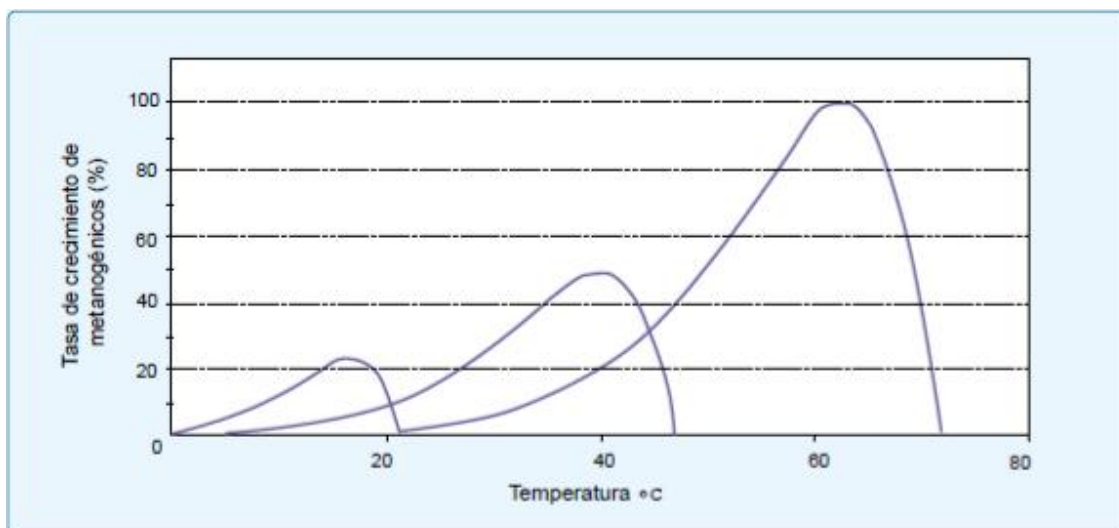


Figura 3. Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilos, mesofílicos y termofílicos.

Fuente: Speece, 1996.



El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición, por lo que no debe bajar de 6,0 ni subir de 8,0 para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente.

Mediante la agitación se pretende lograr los siguientes objetivos, la remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del biodigestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios "muertos" sin actividad biológica.

Se debe contemplar, como factor determinante, la presencia de Inhibidores (Tabla 4), como ser, metales pesados, antibióticos y detergentes, que en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo. Cuando es demasiado alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílica se producirá la inhibición de la digestión. También una elevada concentración de Nitrógeno y Amoníaco destruyen las bacterias metanogénicas (Hilbert, 2011).

Valores que se deben tomar como orientativos, puesto que las bacterias intervinientes pueden con el tiempo adaptarse a condiciones que en un principio las afectaba marcadamente.

*Tabla 4. Inhibidores del proceso de biodigestión*

Inhibidores	Concentración Inhibidora
SO <sub>4</sub> (Sulfatos)	5.000 ppm
NaCl	40.000 ppm
Nitrato (según contenido de Nitrógeno)	0,05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
CN (Después que se han domesticado las bacterias metanogénicas a 2 - 10 mg/ml).	25 mg/l
ABS (Detergente sintético)	20-40 mg/l
Na	3.500-5.500 mg/l
K	2.500-4.500 mg/l
Ca	2.500-4.500 mg/l
Mg	1.000-1.500 mg/l

Fuente: Manual para la producción de biogás-INTA

El equipo destinado al proceso de biodigestión se muestra en la figura 4.

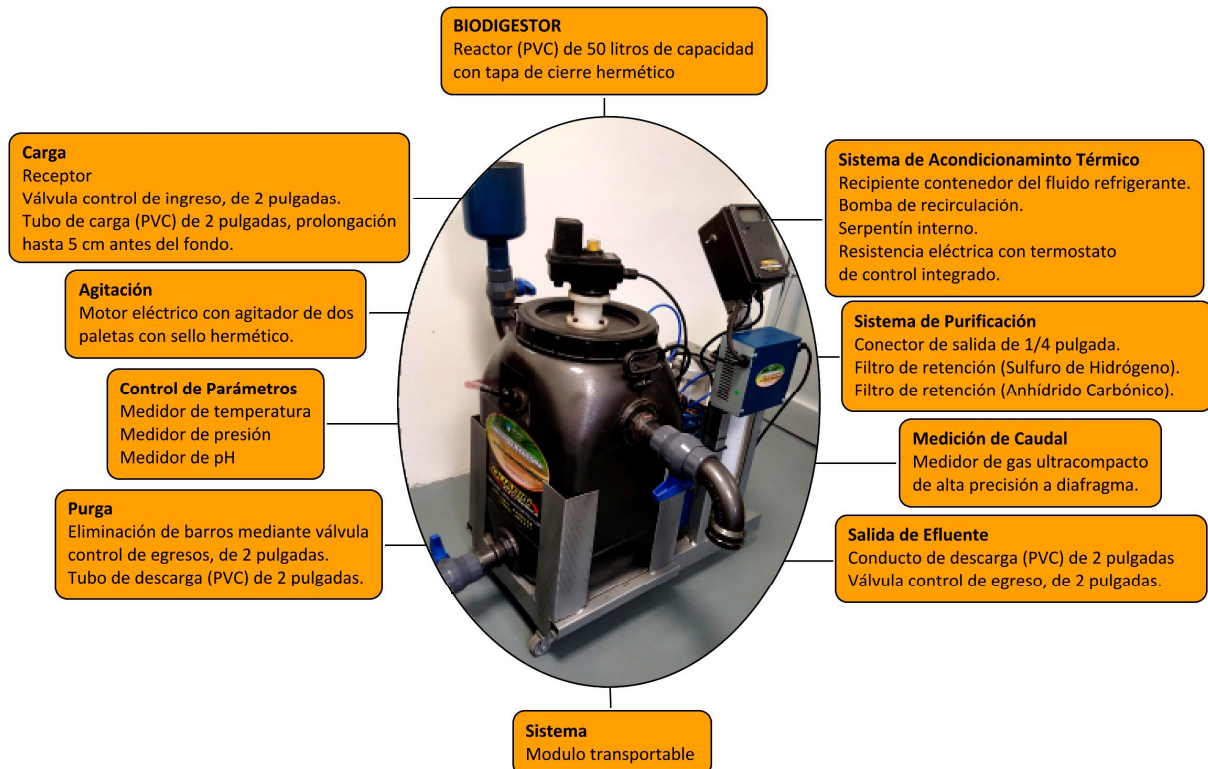


Figura 4. Biodigestor  
Fuente: Elaboración propia

### Cálculo teórico de carga diaria del bioreactor

El volumen de diseño del reactor ( $V_d$ ) es de 50 l. Se deja un volumen complementario o de compensación ( $V_c$ ) para la acumulación del biogás en una proporción de 10:1 (Olaya, 2006), por lo cual se puede calcular el volumen efectivo ( $V_e$ ):

$$V_e + V_c = V_d$$

Pero  $\frac{V_e}{V_c} = \frac{10}{1}$  ; por lo tanto  $V_d = V_c + 10 V_c = 11 V_c$

$$V_c = \frac{50}{11} = 4,54 \text{ l}$$

$$V_e = V_d - V_c = 50 \text{ l} - 4,54 \text{ l} = 45,46 \text{ l}$$

### Cálculo del tiempo de retención

Se hace necesario determinar el tiempo de retención ( $T_r$ ) o tiempo hidráulico en función del volumen efectivo ( $V_e$ ).

Este tiempo de retención se calcula a partir de un tiempo ideal que se toma como 30 días (Gropelli-Giampaoli) y que además es afectado por un factor de corrección que es función de la temperatura de trabajo y está en función a la figura N° 5

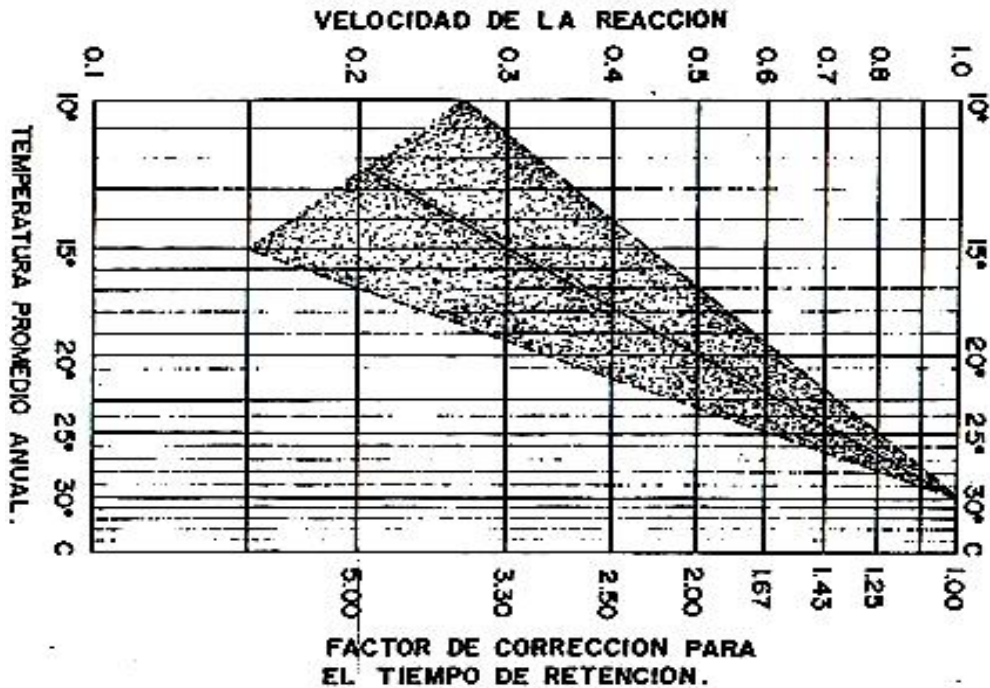


Figura 5. Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención

Fuente: Vargas, 1999

La temperatura de trabajo del biodigestor estuvo en los 30 °C, por lo cual el factor de corrección es 1.

El Tiempo de retención se calcula con la siguiente fórmula:

$$T_r = 30 \text{ días} \times \text{Factor de Corrección}$$

$$T_r = 30 \text{ días} \times 1 = 30 \text{ días}$$

Se debe estimar la biomasa a cargar al digestor, que es la mezcla de estiércol y agua. Se estima que la densidad es la del agua, dado que la mayor parte de la carga es agua.

$$\text{Biomasa en biodigestor} = 45,46 \text{ l} = 45,46 \text{ kg}$$

La mezcla para alimentar el biodigestor debe estar entre el 7 - 9% de Sólidos totales. Se trabaja, a los fines del cálculo con el valor 8%.

$$\frac{\text{Estiércol}}{\text{Biomasa}} = \frac{8}{100} \Rightarrow \text{Estiércol} = \frac{8}{100} \times \text{Biomasa} = \frac{8}{100} \times 45,46 \text{ kg} = 3,64 \text{ kg}$$

La masa de agua a agregar será entonces:  $M_a = \text{Biomasa} - \text{Estiércol}$

$$M_a = 45,46 \text{ kg} - 3,64 \text{ kg} = 41,82 \text{ kg}$$

La carga diaria ( $M_d$ ) será calculada teniendo en cuenta el volumen de la biomasa y el tiempo de retención.

$$\text{Carga diaria} = M_d = \frac{M_a}{T_r} = \frac{45,46 \text{ kg}}{30 \text{ días}} = 1,51 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Esta solución está compuesta por 0,120 gr de estiércol y 1,390 kg de agua.

Determinación del volumen teórico del gas generado:

Para determinar el volumen teórico de gas generado se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\text{Volumen de gas (m}^3\text{)}}{\text{Kg de estiércol}} = \frac{\% \text{ ST}}{100} \times \frac{\% \text{ SV}}{100} \times \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{kg}}$$

Para la obtención de los valores de Sólidos Totales (%ST) y Sólidos Volátiles (%SV) se utilizan las siguientes tablas:

Tabla 5. Valores del porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles

Material (residuos secos)	% Humedad (H)	% Sólidos totales (%ST)	% Nitrógeno (N)	% Carbono (C)	% Sólidos volátiles (%SV)	C/N
Gallina	65.0	35.0	6.3	94.5	65.0	15.0
Bovino	86.0	14.0	1.7	30.8	80.0	18.0
Porcino	87.0	13.0	3.8	76.0	85.0	20.0

Fuente: Olaya, 2006.

Tabla 6. Biogás producido en función de los sólidos volátiles

Material	Proporción (%)	M <sup>3</sup> de biogás / Kg de materia	CH <sub>4</sub> (%)
Gallina	100	0.3111	59.8
Bovino	100	0.0871	65.2
Porcino	100	0.3234	65.0

Fuente: Olaya, 2006.

Por lo tanto:

$$\frac{\text{Volumen de gas (m}^3\text{)}}{\text{kg de estiércol}} = \frac{13}{100} \times \frac{85}{100} \times \frac{0,3234 \text{ m}^3}{\text{kg}} = 0,0357 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

El volumen de gas diario (V<sub>gd</sub>) generado será:

$$V_{gd} = 0,0357 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times 0,120 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 0,0043 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 4,28 \frac{\text{litros de gas}}{\text{día}}$$

Según datos obtenidos de la bibliografía consultada (Muñoz, 2007) 1m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,71 litros de gasolina, 0,55 litros de diesel, 0,45 litros de gas licuado de petróleo y 1,85 kg de

leña al 10% de humedad y 8,5 Kw h. De acuerdo al volumen de gas diario generado se puede considerar que el mismo equivale a 0,00305 litros de gasolina, 0,002365 litros de diesel, 0,001935 litros de gas licuado de petróleo, 0,007955 kg de leña y 0,03655 Kw h.

## Conclusión

Los biodigestores constituyen tecnologías sustentables que pueden aplicarse a distintos sistemas productivos, favoreciendo el cuidado medio ambiental y su economía.

La tecnología y metodología propuesta representa una alternativa de mejora en la producción de biogás, fuente de energía renovable, y como subproducto del proceso de conversión, una fase rica en nutrientes, un biofertilizante, el cual representa una alternativa de mejora en las condiciones y estructura de los suelos.

El desarrollo de estos procesos biotecnológicos tienden a fortalecer las condiciones de vida del sector, son económicamente viables y sobre todo ambientalmente adecuadas.

La Institución propenderá a la difusión y transferencia de la tecnología a las entidades productivas interesadas, previo firma de Convenio. Esto permitirá lograr la vinculación del sector productivo local al Proyecto, y así estimular la cooperación mediante políticas inclusivas de puertas abiertas.

## Bibliografía

- CERVANTES F., SALDIVAR CABRALES, F., YESCAS, J. (2007). *Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura*. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 3 (1): 3-12.
- CORLETO B., MENNA M. (2008). Tratamiento Biológico Aerobio de los residuos generados en el procesamiento industrial de la papa. Proyecto Final de Graduación en Ingeniería Ambiental, FI-FASTA, 109 pp.
- DINAMARCA A., MENNA M. (2010). *Tratamiento Biológico Combinado Anaeróbico/Aeróbico de Estiércol Generado en la Cría Intensiva de Cerdo*. Proyecto Final de Graduación en Ingeniería Ambiental, FI-FASTA, 108 pp.
- FAO (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile, 2011. ISBN 978-95-306892-0  
<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- FRIEHE J., WEILAND P., SCHATTAUER A. N. (2010). *Guía sobre el biogás*.
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources: An introduction*. Wiley-V CH, Weinheim, Germany.
- ESGUERRA, M. (1989). *Experiencias prácticas con biodigestores de bajo costo para la generación de energía y el tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo*. Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Seminario FAO-CNRE: Tecnologías de producción de biogás, pág. 171-178. España.
- GROPELLI E., GIAMPAOLI O. (2001). *El camino de la biodigestión. Ambiente y tecnología socialmente aprobada*. Universidad Nacional del Litoral, 188 pp.
- GROPELLI E., GIAMPAOLI O., MARONI E., LESPINARD A., MUESATI J. (2004). *Puesta en marcha del biodigestor anaeróbico para el tratamiento del residuo orgánico*. Revista AI-DIS Argentina Ingeniería Sanitaria y Ambiental N° 73, pp. 36-41.
- GROPELLI, E; GIAMPAOLI, O; (2012) *Biodigestores. Una propuesta saludable*.
- GUEVARA VERA, A. (1996) *Fundamentos Básicos para el Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes CEPIS, OPS y OMS*.
- HILBERT J. A. (2011). *Manual para la producción de biogás*. Instituto de Ingeniería Rural. INTA – Castelar, 54 pp.  
[http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual\\_para\\_la\\_produccion\\_de\\_biogs\\_del\\_iir.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccion_de_biogs_del_iir.pdf)
- NOQUERA O., MENA M., BACINO G., JACOB S. (1995). *Generación de Energía – Biogás*. GEEAA-FI-UNMDP, 59 pp.
- OLAYA, Y.(2006). *Diseño de un biodigestor de cúpula fija*.

- RODRIGUEZ RODRIGUEZ G., RIVERA RAMIREZ R., RAZO FLORES, E., BREMAUNTZ MICHAVILA M. (1993). *Algunos aspectos acerca del proceso de digestión anaerobia. Parte II: Bioquímica de la Metanogénesis.* Revista Latino Americana de Microbiología 35: 459-468.
- MUÑOZ, M., (2007). *Modelo de Gestión Limpia para Residuos Sólidos Municipales.*
- OLAYA, Y.; (2006). *Diseño de un biodigestor de cúpula fija.* Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.