

---

**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN UN PROTOTIPO DE BIODIGESTOR A  
CONDICIONES AMBIENTALES DE HUANCAVELICA  
BIOGAS PRODUCTION IN A BIODIGESTER PROTOTYPE TO  
HUANCAVELICA ENVIRONMENTAL CONDITIONS**

Jorge Luis Huere Peña <sup>1</sup>, Eleuterio Martín Alcántara Espinoza <sup>1</sup>, Franklin  
Surichaqui Gutiérrez <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería Minas – Civil

Recibido 15-03-24 / Aceptado 15-04-13

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar parámetros técnicos para diseñar un prototipo de biodigestor en condiciones ambientales de Huancavelica, favorables para la producción óptima y eficiente de gas metano (CH<sub>4</sub>).

**Métodos:** la metodología usada se basa en el diseño y construcción de un biodigestor anaerobio de laboratorio (prototipo), así como su puesta en marcha y aplicación práctica por medio de la realización de pruebas, en el que se analizó la producción de biogás a diferentes condiciones ambientales para determinar la influencia de la temperatura en la calidad y cantidad del biogás producido, así como su influencia en otros parámetros. Se ha realizado un programa de cuatro experimentos en los que se han controlado parámetros como la temperatura, el pH, la COD, (Chemical Oxygen Demand).

**Resultados:** la temperatura promedio del biodigestor fue de 33°C, ello debido al calentamiento del exterior mediante un invernadero, una desviación típica de 1,41, y las oscilaciones de temperatura durante ese periodo fueron de 31°C a 37°C. Un pH interno promedio del

biodigestor de 6,89, con una desviación típica de 0,23 y las variaciones del pH tuvieron el rango de 6,5 a 7,3; el contenido de metano (CH<sub>4</sub>) obtenido fue de 56%mol y el contenido de CO<sub>2</sub> fue de 34 %mol, logrando un biogás aceptable.

**Conclusiones:** una limitación en la presente investigación fue del tipo climático, siendo una buena alternativa la implementación de invernaderos, lográndose alcanzar temperaturas mesofílicas, con una producción diaria de biogás aproximada de 0,2 m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup> digestor/día. El porcentaje de mezcla más eficiente en condiciones mesofílicas, fue el correspondiente a la mezcla que contiene 25% v/v de estiércol vacuno y 75% v/v de agua e incorporación de agitación mecánica, obteniéndose 62% y 75,7% de eliminación de COD y con un tiempo de arranque de 22 días aproximadamente.

**Palabras clave:** Biodigestor, biogás, metanización, mesofílico.

## ABSTRACT

**Objective:** To determine technical parameters to design a biodigester prototype in Huancavelica's environmental conditions favorable

for optimal and efficient production of methane gas (CH<sub>4</sub>). **Methods:** The methodology used is based on the design and construction of an anaerobic biodigester laboratory (prototype), as well as its implementation and practical application through testing, in which biogas production to different environmental conditions was analyzed to determine the influence of temperature on the quality and quantity of produced biogas besides their influence on other parameters. It has been made a program of four experiments where there have been controlled parameters such as temperature, pH, and COD (Chemical Oxygen Demand). **Results:** The biodigester average temperature was 33°C due to heating from outside through a greenhouse, a standard deviation of 1,41, and temperature fluctuations during that period were from 31°C to 37°C. An average inside pH of the biodigester of 6,89, with a standard deviation of 0,23, and the pH variations ranged from 6,5 to 7,3; the methane content (CH<sub>4</sub>) obtained was 56 mol% and CO<sub>2</sub> content was 34% mol achieving an acceptable biogas. **Conclusions:** A limitation in this study was the climatic type, being a good alternative the implementation of greenhouses achieving mesophilic temperatures, with a daily production of biogas approximately of 0, 2 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> digester/day. The more efficient mixture percentage in mesophilic conditions was the corresponding to mixture containing 25% v/v of bovine manure and 75% v/v of water and mechanical agitation incorporation, obtaining 62% and 75,7% of COD removal and with a start time of 22 days approximately.

**KeyWords:** Biodigester, biogas, methanization, mesophilic.

## INTRODUCCIÓN

La utilización de materia orgánica biodegradable, dentro de la cual se encuentran: excretas de cerdo, vacas, gallinas, residuos vegetales, aguas servidas, se va incrementando significativamente orientados a la producción de energía. Hoy en día es cada vez más creciente la contaminación de suelos, mantos acuíferos, ríos, por vertidos de las mismas, así como la contaminación del aire causado por las emisiones de los gases producto de la descomposición de esta materia orgánica, la proliferación de enfermedades, etc. Estos gases emitidos deberían ser aprovechados para obtener una serie de beneficios, tales como la generación de un combustible rico en metano, el cual posee características óptimas para su utilización como un elemento importante en la producción de energía, bajo costo de producción e implementación, bajos costos de operación y una baja inversión inicial.

A nivel mundial la utilización de las tecnologías renovables, en los últimos años, ha ido aumentando considerablemente, debido a que las energías renovables son amigables con el medio ambiente, su existencia no se agota con su utilización ya que vuelven a su estado original y/o se regeneran; por su parte los combustibles fósiles presentan desventajas como: encarecimiento con el tiempo, agotamiento del recurso por ser no renovable, así como también, la contaminación que estos causan al medio ambiente y al ecosistema en general.

La exploración y utilización del biogás en el mundo abarca un periodo de más de 6 décadas, las primeras plantas se construyeron en China, en la década de 1940 y en la India en la década de 1950 (1). En América existe trabajos de investigación sobre la producción de biogás, como por ejemplo en México en 1979 (2). En El Salvador, desde más de 25 años, ya existe conocimiento respecto al tema de biogás; asimismo, Bolivia tiene sus primeros avances en la década de 1990, a cargo de la Universidad Mayor de San Simón, contando con el financiamiento de la Cooperación Alemana GTZ (Tecnologías en Desarrollo, 2005), y otros trabajos que usan desechos orgánicos (biomasa) como estiércol de animales y desechos de vegetales para la generación de biogás y dar aplicaciones diversas en diferentes rubros. (3).

En nuestro país, desde alrededor de 20 años ya existía previo conocimiento del tema, ello se viene dando a través de proyectos pilotos. Hasta la fecha, se han implementado alrededor de 20 biodigestores familiares, en comunidades rurales de la zona de Cusco y de Cajamarca, teniendo la dificultad que muchas veces no cuentan con la asesoría técnica, ni el incentivo de implementación por parte del gobierno, instituciones privadas u organizaciones afines al tema. Es por ello que se planteó en este trabajo de investigación a fin de determinar los parámetros técnicos para la producción de Biogás en un prototipo de biodigestor a condiciones ambientales de Huancavelica.

En tal sentido, el problema general de investigación formulado fue:

¿cuáles son los parámetros técnicos para la producción de biogás en un prototipo de biodigestor y las mezclas óptimas de biomasa a temperaturas mesofílicas? La hipótesis fundamental planteada fue: bajo las condiciones ambientales de Huancavelica, es posible determinar los diferentes parámetros técnicos en un prototipo de biodigestor y las mezclas óptimas de biomasa a temperaturas mesofílicas, para la producción de biogás. Considerando el problema y la hipótesis planteada se propuso como objetivo general: determinar los parámetros técnicos en un prototipo de biodigestor y las mezclas óptimas de biomasa a temperaturas mesofílicas adaptados a las condiciones ambientales de Huancavelica, para la producción de biogás. Como objetivos específicos: (a) cuantificar el ingreso y salida de materia prima (carga y descarga), analizando la efectividad de conversión de materia prima utilizada de sólido a gas y líquido a gas. (b) determinar el porcentaje de mezcla óptimo estiércol - agua para la codigestión en condiciones de temperatura mesofílicas (35 °C).

Se realizó, durante la investigación, un programa de cuatro experimentos; se han controlado parámetros como la temperatura dentro de la zona, en el caso de Huancavelica a temperaturas en el rango mesofílico. El pH óptimo para la biodigestión anaeróbica estuvo dentro del rango de 6,8 y 7,4, la DQO (Demanda Química de Oxígeno) tuvieron como valores promedio de 1755 mg/L en el influente y 379 en el efluente, los contenidos de fósforo, nitrógeno, volumen de biogás producido, logrando resultados satisfactorios en concentraciones comprendidas entre

3 a 10% de sólidos en la práctica. Como resultados de los experimentos del trabajo de investigación no se logró determinar una mezcla que se destacara con respecto a las demás y con la eficiencia y rendimiento en la producción de CH<sub>4</sub>; los volúmenes de biogás producidos en estas condiciones mesofílicas fueron mucho más pequeños que los producidos en el rango termofílico, sin embargo la mezcla presentó menor tiempo de arranque 12 vs 19 días y la incorporación de agitación mecánica resultó más eficiente en cuanto al rendimiento de generación de metano en una mezcla de estiércol vacuno y agua.

El prototipo propuesto y las condiciones que se han determinado en la presente investigación podrán servir como guía para la construcción de biodigestores similares, así como manual para su uso correcto, con recomendaciones y consejos prácticos. Además, las conclusiones obtenidas en los experimentos, servirán para posteriores ensayos, usos y aplicaciones del mismo, teniendo en cuenta las dificultades de la zona con respecto a la temperatura que obliga a trabajar en las pruebas en condiciones mesofílicas que disminuyen la eficiencia de producción de biogás, así como también el tipo de biomasa con la que se pueda trabajar, como son excretas de animales propios del lugar.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los dispositivos utilizados para los experimentos, básicamente, estuvieron constituidos por aparatos para la determinación y medición de

variables de estudio como son la temperatura, presión, pH, DQO, etcétera. La población objetivo representa las zonas y regiones con condiciones ambientales iguales o similares a las de Huancavelica, donde se puede producir biogás, con presencia de material de biomasa equivalentes. El estudio se realizó en la región de Huancavelica, específicamente dentro de los ambientes de la Universidad Nacional de Huancavelica; el cual contiene características ambientales muy particulares, ya que cuenta con un clima bastante frío y con una intensidad muy elevada de radiación solar durante el día y una temperatura cuyos cambios en las diferentes estaciones tiene un alto rango de variación; así como también a lo largo de un día. El material de entrada para la producción de biogás fue utilizando la biomasa presente en la zona, los cuales básicamente estuvieron compuestas por excretas de animales propios de la zona (porcinos, vacunos y camélidos sudamericanos). Posteriormente se realizaron pruebas en un invernadero construido como parte del proyecto, con el fin de obtener básicamente temperaturas más homogéneas y más elevadas. La muestra o biomasa utilizada en este trabajo, para la producción de biogás, son residuos producidos por animales de la zona (excretas o estiércol), con una cantidad de agua para mezcla y homogenización. Los materiales de fermentación están compuestos, en su mayor parte, por Carbono (C) y Nitrógeno (N). En la Tabla 1 se compara la relación C/N (Carbono/Nitrógeno) de varios productos residuales:

Tabla 1.- Relación Carbono/Nitrógeno en varios productos residuales.

Sustancia	C/N
Orina	0,8
Estiércol equino	25
Estiércol vacuno	18
Alfalfa	16-20
Algas marinas	19
Aserrín	511
Basura	25
Peladura papas	25

Fuente: (4)

Para la recolección de datos se realizaron experimentos en un prototipo de biodigestor preparado, teniendo en cuenta los modelos existentes en el mundo y las características ambientales de Huancavelica, para el cual se diseñó y construyó un prototipo de biodigestor discontinuo (tipo Bach), al que se le adicionó un agitador central

o hélice de los biodigestores de tipo continuo para obtener una mezcla homogénea de la biomasa interna y el agua adicionada. Para lograr control de los parámetros a estudiar como temperatura y presión se instalaron controles, un termómetro digital y un barómetro analógico, tal como se muestra en la Figura 1.



Figura 1.- Instrumentos instalados en el prototipo de biodigestor a fin de controlar los parámetros de presión y temperatura

## RESULTADOS

Durante un periodo de 106 días se registró diariamente las variaciones de temperatura. La temperatura promedio del biodigestor fue de 33°C, esto debido al calentamiento del

exterior mediante un invernadero; además, la toma de datos se registraron a medio día, teniendo los datos una desviación típica de 1,41; y las oscilaciones de temperatura durante ese periodo fueron de 31°C a 37°C. Obteniéndose como resultado

los datos que se ilustran en la Figura 2.

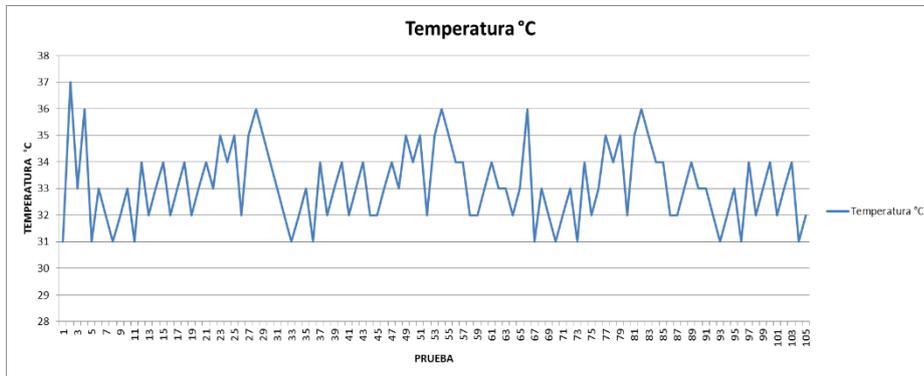


Figura 2.- Registro de temperatura del biodigestor

Durante el mismo periodo (106 días), y de manera paralela, también se registró los datos respecto a la variación de pH al interior del biodigestor, los cuales se presentan a la Figura 3, teniendo durante ese

periodo un pH interno promedio del biodigestor de 6,89, con una desviación típica de 0,23, y las variaciones del pH tuvieron el rango de 6,5 a 7,3.

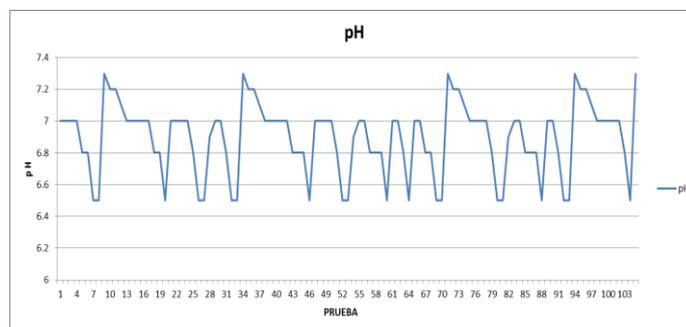


Figura 3.- Registro del pH del biodigestor

Durante el proceso de biodigestión se realizaron tres muestreos para determinar la composición del biogás producto de la degradación micro bacteriana, los muestreos se realizaron a los 35, 70 y 105 días (fin del proceso de biodigestión); la temperatura promedio durante esta última fase fue de 33.03 °C y el pH promedio fue de 6,93, muy similares a los valores promedios del proceso

total, el contenido de metano (CH<sub>4</sub>), al finalizar esta segunda fase, se incrementa a 56%mol, logrando un biogás aceptable de acuerdo a los estándares vistos en (5) y (6), valores que no se lograron en el primer y segundo muestreo, que mencionan que el contenido de CH<sub>4</sub> debería estar comprendido entre 54% y 70% y el contenido de CO<sub>2</sub> entre 27 y 40,

los resultados del tercer muestreo se observan en la tabla 2.

Tabla 2.- Resultados de la composición del biogás en el tercer muestreo

COMPONENTES	FRACCIÓN MOL	% MOL
CH <sub>4</sub>	0,56	56
CO <sub>2</sub>	0,34	34
NO <sub>2</sub>	0,1	10
O <sub>2</sub>	0,02	2

Los valores promedios de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de

Oxígeno (DBO) en el influente y efluente del biodigestor se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3.- Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) del Sistema.

PRUEBA	Valor promedio en		Valor promedio en	
	(mg de O <sub>2</sub> /L)	DQO	(mg de O <sub>2</sub> /L)	DBO
Influente		1755		838
Efluente		379		168

## DISCUSIÓN

Entre los factores ambientales importantes para el funcionamiento de los biodigestores, figuran la temperatura, la concentración de sólidos, la concentración de ácidos volátiles, la formación de espuma, la concentración de nutrientes esenciales, las sustancias tóxicas y el pH (7), siendo en nuestro proyecto de importancia y prioridad de medición la temperatura y el pH, dado que son parámetros a tener en cuenta por la altitud y clima de la zona de influencia del proyecto.

En el caso del tratamiento anaerobio de lodos, la temperatura del proceso determina la rapidez y el grado de avance de la digestión anaerobia (8).

Por ello es importante que la temperatura se mantenga constante ya que cada grupo bacteriano posee un grado de temperatura óptimo de crecimiento. Si la temperatura fluctúa, no se podrá mantener ninguna población metanógena en forma estable, y una disminución en la población de un determinado grupo puede afectar al proceso de digestión anaerobia, reduciendo el grado de

estabilización del lodo y, con ello, la formación de  $\text{CH}_4$  (9). La gama de temperatura para la digestión anaeróbica tiene dos zonas óptimas: una mesófila (30 - 40°C) y otra termófila (45 - 60°C).

Casi todos los digestores funcionan dentro de los límites de temperaturas mesófilas, y la digestión óptima se obtiene a unos 35°C. La velocidad de digestión a temperaturas superiores a 45°C es mayor que a temperaturas más bajas; sin embargo, las bacterias son sumamente sensibles a los cambios ambientales especialmente una disminución repentina de solo unos pocos grados (7).

Para una digestión óptima, tienen que estar presentes todos los elementos esenciales en forma fácil de asimilar por las bacterias. Se han logrado resultados satisfactorios con concentraciones mayores a 15% de sólidos, sin embargo en la práctica la gama es de 3 a 10% (7). Los requerimientos nutritivos de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno): nitrógeno: fósforo en la digestión anaeróbica están en la relación 700: 5: 1. Solo los estiércoles están nutricionalmente balanceados. Además, para el crecimiento óptimo de los metanógenos es necesario la presencia de cuatro elementos en concentraciones muy bajas: Fe 2nM, Co 10 nM, Ni 100 nM y Mo 10 nM (10).

En cuanto al pH se establece que el funcionamiento óptimo de la biodigestión anaerobia está alrededor de la neutralidad, este se ubica entre 6,8 y 7,4. La digestión comienza a inhibirse a pH 6,5 (11).

Está íntimamente relacionado a la concentración de Ácidos Grasos Volátiles (AGV) y su relación con la alcalinidad del sistema. Esta condición es imperante en cualquier condición de temperatura, aunque se puede recurrir a un sistema de dos fases, en donde las dos primeras etapas del proceso se establecen como un sistema de condición acidógena y las dos últimas, como la condición metanógena. Se debe destacar la importancia de las bacterias sulfatorreductoras y acetógenas, pues estas poblaciones microbianas son quienes mantienen los niveles ideales de pH mediante el consumo óptimo de AGV, y también mantienen un equilibrio perfecto entre los productores y consumidores de  $\text{H}_2$ . Este equilibrio es conocido como asociación sintrófica o transferencia interespecie de  $\text{H}_2$  (9) (12).

El  $\text{CO}_2$  es soluble en agua y reacciona con los iones hidroxilo para formar bicarbonato. La concentración de  $\text{HCO}_3$  es afectada por la temperatura, el pH y la presencia de otros materiales en la fase líquida. Las condiciones que favorecen la producción de bicarbonato aumentarán, a su vez, el porcentaje de metano en la fase gaseosa (7).

Cuando las condiciones climáticas lo exigen, como es el caso de Huancavelica, se debe calentar el digestor para reducir el tiempo de retención y a su vez el tamaño del mismo. Pero este paso requiere emplear parte del gas producido, disminuyendo la cantidad aprovechable para uso doméstico, y añadiendo un costo de instalación y operación (11).

El desarrollo de biodigestores en la zona andina presenta una barrera tecnológica fundamental como son las bajas temperaturas. Digestores robustos ampliamente difundidos, como el chino o el hindú, de gran complejidad y coste elevado, no podrían funcionar en estas condiciones climáticas; en cambio, los biodigestores tubulares de plástico, instalados en una zanja con aislamiento térmico del suelo, y cubiertos con un invernadero que se soporta sobre paredes gruesas de arena compactada (adobe o tapiales), son una buena alternativa para superar estas limitaciones (13).

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sathianathan MA. Biogas Achievement and Challenges Association of Voluntary Agencies and Rural Development New Delhi: The Biogas Technology in the third world; 1975.
2. Gomez J, Viniegra G. The use of Anaerobically Digested Cattle Slurry as a Fertilizer for Vegetables. In Metropolitana UA, editor. Tropical Animal Production; 1977; Mexico D.F. pp. 25-29.
3. Hidalgo J, Maravilla V, Ramírez W. Aprovechamiento Energético de Biogás en el Salvador. [Tesis para optar el grado de ingeniero mecánico]. Cuscatlán: Universidad Centroamericana "Jose Simeón Cañas"; 2010.
4. Corace JMA, Martina P, Ventin A, Garcia S. Comparación del Tiempo de Reacción en el Proceso de Biodigestión según el tamaño de las partículas de aserrín utilizado como materia orgánica. Corrientes: Universidad Nacional del Nordeste – Argentina; 2006.
5. Botero R, Preston T. Biodigestores de bajo Costo para la producción de Combustibles y Fertilizantes a Partir de Excretas. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical; 1987.
6. Olaya Y, Gonzales L. Fundamentos para el Diseño de Biodigestores. Modulo de Asignatura. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.; 2009.
7. López A. Valorización del Estircol de Cerdo a través de la producción de Biogás. Asociación Colombiana de Porcicultores. Bogota: Fondo Nacional de Porcicultura; 2006.
8. Mejía G. Digestión Anaerobia. Universidad Autónoma de Yucatan. Yucatan; 1996.
9. Chen Y, Cheng J, Creamer K. Inhibition of Anaerobic Digestion Process. Bioresource Technology. 2008; 99(10): 4044–4064.
10. Kossman W, Pönitz U. Biogas basics. Information and advisory service on appropriate Technology. Federal Republic of Germany: GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ); 2000.
11. McGarry M, Stainforth J. Compost Fertilizer and Biogas Production from Human and Farm Wastes in the People's Republic of China. United Kingdom: Science Publishing House; 1978.
12. Kalia VC, Purohit HJ. Microbial diversity and genomics in aid of bioenergy. Journal of Industrial

Microbiology. 2008; 35(5):403-419.

13. Ferrer I, Uggetti E, Poggio D, Velo E. Producción de Biogás a partir de Residuos Organicos en Biodigestores de Bajo Coste.

Barcelona: Grup de Recerca en Cooperació i Desenvolupament Humà; 2010.

Correo electrónico:  
**[huerecom@hotmail.com](mailto:huerecom@hotmail.com)**