

## Rendimiento del biogas como combustible para cocina e iluminación producido en biodigestor tubular en la Providencia, Luya – Amazonas

### Performance of biogas as fuel for kitchen and lighting produced in tubular biodigester in Providencia, Luya - Amazonas

Miguel Barrena<sup>a</sup>, <sup>a</sup>Jóhmer Julca<sup>1</sup>, <sup>b</sup>Monika Hellenthal<sup>1</sup>, <sup>c</sup>Carla Ordinola<sup>1</sup>

#### RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo de investigación fue determinar el rendimiento de biogas como combustible para cocina e iluminación producido en un digestor tubular, en Cruz Lomas, distrito de Providencia, provincia de Luya, Departamento de Amazonas – Perú. Se empleó un biodigestor de geomembrana de PVC de 0,5 mm de espesor, 1,27 m de diámetro y 6,70 m de largo, con un volumen de trabajo de 6,37 m<sup>3</sup> que contiene la mezcla estiércol:agua en una proporción de 1:5; el tiempo de retención hidráulica fue de 20 días. El biogas producido se almacenó en la cúpula del biodigestor (2,12 m<sup>3</sup>) y en el gasómetro (2,53 m<sup>3</sup>), y fue suficiente para preparar diariamente los alimentos típicos de una familia campesina en la cocina a biogas, lo que requirió un promedio de 5 horas y 30 minutos por día, quedando aún biogas en el gasómetro. Con el mismo volumen y presión de biogas, se pudo hacer funcionar una lámpara de camiseta durante 5 horas y 22 minutos por día para iluminar un ambiente de la vivienda rural. Esta información sustenta que la tecnología del biogas contribuirá a mejorar la calidad de vida de los agricultores y a reducir la contaminación ambiental causada por el estiércol.

**Palabras clave:** biodigestor tubular, cocina a biogas, lámpara a biogás

#### ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the performance of biogas as cooking fuel and illumination produced in a tubular digester, in Cruz Lomas, Providencia district, Luya province, Department of Amazonas - Peru. A PVC geomembrane biodigester of 0.5 mm thick, 1.27 m in diameter and 6.70 m in length was used, with a working volume of 6.37 m<sup>3</sup> containing the manure:water mixture in the proportion of 1:5; the hydraulic retention time was 20 days. The biogas produced was stored in the biodigester cupola (2.12 m<sup>3</sup>) and in the gasometer (2.53 m<sup>3</sup>), and it was enough to prepare daily typical food of a peasant family in the kitchen with biogas, which required an average of 5 hours and 30 minutes per day, still remaining biogas in the gasometer. With the same volume and biogas pressure, a biogas lamp could be operated for 5 hours and 22 minutes per day to illuminate a rural housing environment. This information holds that biogas technology will contribute to improving farmer's quality of life and reducing environmental pollution caused by manure.

**Keywords:** tubular biodigester, biogas cooker, biogas lamp

<sup>1</sup>Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Chachapoyas, Perú

<sup>a</sup>E-mail: jjulca@indes-ces.edu.pe <sup>b</sup>E-mail: mhellenthal@indes-ces.edu.pe <sup>c</sup>E-mail: cordinola@indes-ces.edu.pe

<sup>\*</sup>Autor de correspondencia: mbarrena@indes-ces.pe

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, los sistemas agropecuarios contribuyen de forma significativa con la emisión de tres gases de efecto invernadero (GEI): metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (CIAT, 2009). Las diferentes incidencias varían según los estudios; así, el porcentaje de estos GEI se puede situar entre el 10 y el 12% (Smith *et al.*, 2007), en torno al 14,5% (Gerber *et al.*, 2013), o cercano al 18% (Steinfeld *et al.*, 2006). El aumento de concentración de GEI causa cambios regionales y globales en la humedad del suelo, incremento del nivel del mar, derretimiento de glaciares y mayor frecuencia de huracanes, inundaciones y sequías (IPCC, 2001).

Además, el metano tiene un potencial de calentamiento global 25 veces mayor que el CO<sub>2</sub> y su tiempo de vida en la atmósfera es de 9 a 15 años, con un crecimiento anual del 7 % (IPCC, 2000). El sector ganadero sería responsable del 9% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, del 35-40% de las de CH<sub>4</sub>, y del 65% de las de N<sub>2</sub>O (Steinfeld *et al.*, 2006). Cabe destacar que los rumiantes en pastoreo tienen la capacidad de convertir materiales indigestibles de la planta ricos en celulosa, en carne, leche, lana y cuero, de manera que no compiten directamente con los seres humanos por el alimento (Buddle *et al.*, 2011).

La digestión anaeróbica es la degradación de materiales orgánicos por las arqueas en ausencia de oxígeno, produciendo CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y otros gases como subproductos; esta mezcla se conoce como biogas que es una fuente de energía renovable, constituido por 60 a 80 % de CH<sub>4</sub>, dependiendo del sustrato y de las condiciones de operación (Roos *et al.*, 2004). Es una práctica promisoriosa para mitigar las emisiones de los GEI del estiércol recolectado. Los digestores anaeróbicos también reducen los patógenos y el olor del estiércol.

En el biogas hay trazas de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) que le da olor a desagüe, por lo que debe eliminarse del flujo de biogas antes de emplearlo como combustible. Para ello es suficiente hacer pasar el flujo de biogas a través de un cartucho relleno con viruta, esponja o

clavos de hierro.

La reacción química que se produce es la siguiente: H<sub>2</sub>S + Fe → FeS + H<sub>2</sub>. El sulfuro ferroso (FeS) queda adherido al hierro dentro del cartucho, y el hidrógeno (H<sub>2</sub>) producido se incorpora al flujo de biogas (Barrena Gurbillón *et al.*, 2013).

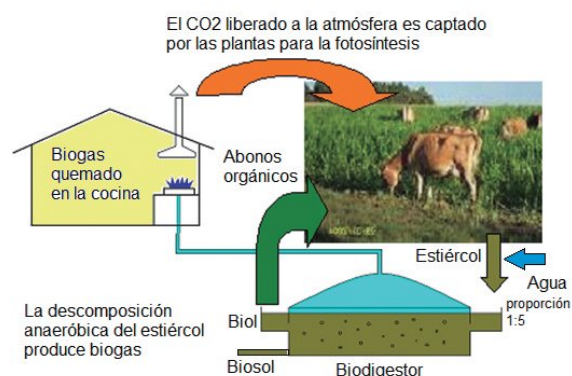
El metano, principal componente del biogas, es el que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogas por lo tanto estará determinado por la concentración de metano, alrededor de 20 – 25 MJ/m<sup>3</sup>, comparado con 33 – 38 MJ/m<sup>3</sup> para el gas natural (Werner *et al.*, 1989).

Se consideran tres rangos de temperatura para los sistemas de biogas anaeróbico: psicrófilos (de 15 a 25°C), mesófilos (de 30 a 38°C), y termófilos (de 50 a 60°C). Estos rangos de temperatura facilitan el crecimiento de microbios específicos. Los sistemas termófilos son más sensibles a cambios medioambientales, tales como las fluctuaciones de temperatura y las concentraciones químicas producidas durante el proceso de digestión (e.g. Ahn y Forster, 2002; Kim *et al.*, 2002; El-Mashad *et al.*, 2003), y es que el número de especies de microorganismos funcionales que sobreviven a estas temperaturas es considerablemente menor que aquellos que sobreviven a temperaturas más bajas (e.g. Ziekus, 1977; Wolfe, 1979; Smith, 1980). Por debajo de los 15°C la producción de biogas se reduce significativamente y el CO<sub>2</sub> se convierte en el producto dominante de la digestión anaeróbica; por lo tanto, los sistemas de digestión anaeróbica no son recomendados para lugares con una temperatura por debajo de este límite, sin la adición de calor y control de temperatura (Sommer *et al.*, 2007).

Los digestores más pequeños (6 a 10 m<sup>3</sup>) se promovieron en las décadas de 1970 y 1980 en Asia y América Latina. Fueron diseñados para mejorar las condiciones sanitarias en países en vías de desarrollo y para proporcionar la energía a viviendas unifamiliares (Bond y Templeton, 2011; Jiang *et al.*, 2011). Se crearon para funcionar con el estiércol de muy pocos animales (dos a cinco cerdos, cinco a diez vacas, 100

pollos, o una combinación de estos) junto con los desechos de la vivienda familiar.

El biogas es un combustible ecológico porque permite reciclar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido en su combustión, es decir, realizar la captura de carbono. Las plantas absorben agua y nutrientes del suelo mediante sus raíces; con sus hojas captan el CO<sub>2</sub> del aire, y la energía solar a través de la clorofila para realizar la fotosíntesis, que permite a la planta producir monosacáridos y luego polisacáridos para su crecimiento. Las plantas sirven de alimento a los animales, los que al final de su digestión excretan estiércol, que puede ser colectado para procesarlo en un recipiente cerrado (biodigestor) en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) para producir biogas y bioabonos. El biogas se emplea como combustible en la cocina, en lámparas tipo petromax, en calefacción, en motores de combustión interna en reemplazo de la gasolina y parcialmente del petróleo diesel; produciendo CO<sub>2</sub> y vapor de agua que se descargan a la atmósfera, de donde el CO<sub>2</sub> será reciclado por las plantas. Los bioabonos servirán para retornar nutrientes al suelo de manera que la producción de los cultivos sea mayor (Figura 1) (Barrena Gurbillón *et al.*, 2013).

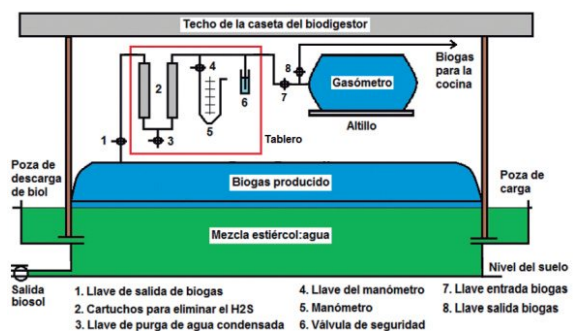


**Figura 1.** Ciclo del biogás como combustible ecológico.  
Fuente: Barrena Gurbillón *et al.*, 2013

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

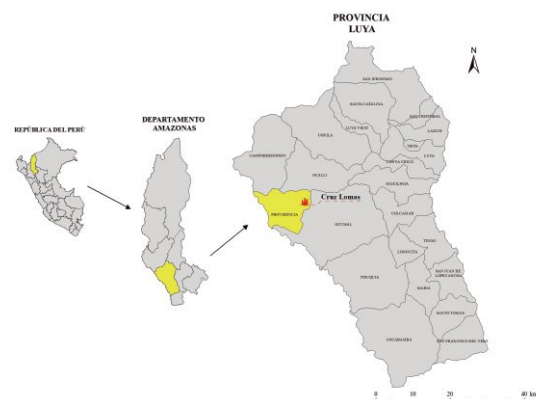
### Sistema de producción de biogas y bioabonos

Se empleó el esquema de la Figura 2 para instalar el sistema de producción de biogas y bioabonos en Cruz Lomas, distrito de Providencia, provincia de Luya, Amazonas (Perú), a 1700 m.s.n.m. (Figura 3). El biodigestor de geomembrana de PVC de 0,5 mm de espesor tiene 8,49 m<sup>3</sup> de volumen total, con 6,37 m<sup>3</sup> de volumen de trabajo ocupado por la mezcla estiércol: agua en la proporción 1:5, y 2,12 m<sup>3</sup> libre en su cúpula, para ser ocupado por el biogas producido por la descomposición de la materia orgánica. El biodigestor está conectado a un gasómetro del mismo material de 2 m de largo por 1,27 de diámetro (volumen de 2,53 m<sup>3</sup>), para almacenar el biogas que será empleado como combustible de la cocina o la lámpara de camiseta. La presión se midió con un manómetro en U con agua, siendo la presión máxima de operación de 12 cm de agua, controlado por la válvula de seguridad.



**Figura 2.** Esquema de instalación del sistema de producción de biogas y bioabonos con biodigestor tubular.

Fuente: Barrena Gurbillón *et al.*, 2013.



**Figura 3.** Localización del área de estudio.

### Cocina a biogas

La cocina a biogas posee una estructura de varilla de fierro de 3/8", con dos hornillas o quemadores de aluminio de 4" y de 6" (Figura 4). Cada hornilla tiene un niple de fierro galvanizado de 1/2" y en el otro extremo se enrosca un codo de PVC al que se conecta la llave de paso y el resto de los accesorios. Para determinar el consumo diario de la cocina a biogas, se prepararon los alimentos típicos de una familia campesina.



Figura 4. Cocina de dos hornillas a biogas.

### Lámpara a biogas

A una lámpara a gas propano se le retiró el niple (válvula de expansión en el círculo rojo) de bronce de la llave de paso de biogas, y así quedó habilitada para funcionar a biogás (Figura 5). Se colocó a la lámpara un asa larga de alambre galvanizado para colgarla de una viga. De esta manera se tiene un sistema seguro para iluminación con biogas para vivienda en zona rural.



Figura 5. Lámpara adaptada para funcionar a biogas.

## III. RESULTADOS

### Sistema de producción de biogas y bioabonos

En Cruz Lomas, distrito de Providencia, se empleó estiércol fresco de ganado vacuno para cargar el biodigestor hasta su volumen de trabajo con la mezcla antes indicada: agua en la proporción de 1:5 (34 kg de estiércol para un cilindro de 200 L). A la temperatura ambiente promedio de 20 °C, el tiempo de retención hidráulica (días transcurridos desde que se cargó el biodigestor a su volumen de trabajo, hasta que se observó su cúpula y el gasómetro completamente inflados por el biogas producido) fue de 20 días (Figura 6). A partir del día 21 en adelante, se alimentó el biodigestor con 200 L de mezcla estiércol:agua (1:5), para mantener la producción de biogas. Cada día, después de alimentar el biodigestor se procedió a retirar 200 L de biol por la poza de descarga de biol, el cual se empleó como fertilizante orgánico para plantas de café.

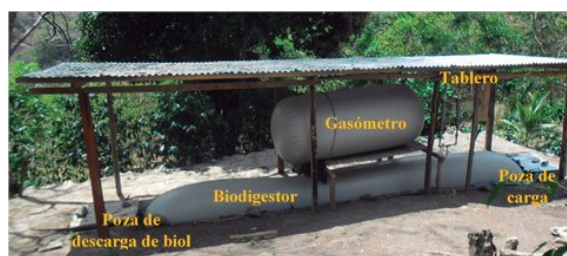


Figura 6. Sistema de producción de biogas y bioabonos instalado en Providencia.

### Cocina a biogas

El biogas es un excelente combustible ecológico para cocinar los alimentos, arde con llama azul, y no tizna ni humea los utensilios de cocina. El biodigestor produce biogas todos los días y de forma continua. La cocina a biogas facilita enormemente la tarea de preparar los alimentos, de manera que en la vivienda del fundo cafetalero donde se instaló el sistema de producción de biogas y bioabonos, ya no se emplea leña, que contribuye a la conservación de la vegetación; además, cada molécula de metano producido por la descomposición del estiércol, al ser empleado como combustible se convierte en una molécula de CO<sub>2</sub>, con lo que se reduce su poder como GEI en 25 veces.



**Tabla 1.** Tiempo para la cocción de alimentos típicos de zonas rurales

Alimento	Tiempo para cocción (min)					Promedio (min)
	15,5	17	14	14,5	17,75	
Agua	15,5	17	14	14,5	17,75	15,75
Arroz	47	41	37	30	32	37,4
Papa	50	45	37	37	37	43,5
Plátano	60	63	56	56	58	58,6
Frijoles	52	60	48	40	38	47,6
Carne	71	65	66	59	57	63,6
Sopa	73	69	65	74	67	69,6

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 1 muestra el tiempo necesario para la preparación de alimentos típicos de zonas rurales, en la vivienda del fundo cafetalero, en Cruz Lomas. Las cantidades de cada tipo de alimento a preparar fueron de 1 kg o 1 L cada día, en la cocina a biogás (Figura 7). La evaluación se realizó durante cinco días consecutivos, para poder determinar el tiempo promedio necesario para preparar cada tipo de alimento con la cocina a biogas.



**Figura 7.** Cocina a biogas en Cruz Lomas.

En zonas rurales, normalmente se preparan los alimentos una vez al día para el almuerzo, y para la cena solo calientan los alimentos que quedaron del almuerzo. Adicionalmente hierven agua para té o café. El consumo de biogas cambia drásticamente con el porcentaje de apertura de la llave de cada hornilla de la cocina; también es importante considerar si solo una hornilla o las dos hornillas juntas son utilizadas. Con una presión inicial de biogas de 4,5 cm de agua, las dos

hornillas funcionan siete horas con las válvulas totalmente abiertas hasta que el biogas en el gasómetro está agotado completamente. Esta posición de las válvulas es un escenario extremo y hace posible una altura de llama de 50 cm que no es adecuado para cocinar porque envuelve a la olla haciendo un consumo exagerado de biogas. Con las válvulas más cerradas sería posible un tiempo de funcionamiento de la cocina más largo.

### Lámpara a biogas

El tiempo de uso de la lámpara depende del lugar. En la vivienda de la chacra necesitan menos luz que en una vivienda urbana. En la chacra se utiliza la lámpara más o menos una hora diaria, en vivienda urbana hasta tres horas. El consumo de gas de la lámpara se determinó como 2 cm cada hora (Figura 8). Es posible utilizar la lámpara hasta el vaciado completo del gasómetro. No es necesaria ninguna presión mínima para encenderla, pero la luminosidad baja con la disminución de la presión del biogás (Tabla 2).



**Figura 8.** Lámpara a biogas en Cruz Lomas.

**Tabla 2.** Tiempo de funcionamiento de una lámpara de camiseta a biogas

Día	Tiempo de funcionamiento de la lámpara a biogas
1	5 h 10 min
2	5 h 16 min
3	5 h 20 min
4	5 h 25 min
5	5 h 38 min

Fuente: Elaboración propia

#### IV. DISCUSIÓN

Barrena Gurbillón *et al.* (2013), reportaron que en climas fríos (15°C y a 2700 m.s.n.m.), un biodigestor tubular de 8 m de largo y 1,27 m de diámetro, alimentado con mezcla estiércol:agua en la relación de 1:5, produjo biogas y alcanzó una presión de 10 cm de agua en 42 días; mientras que en climas cálidos, se reduce el tiempo de producción de biogas. Esta tendencia se cumplió en la presente investigación con un biodigestor similar en Cruz Lomas, cuya temperatura ambiente fue de 20°C y se ubica a 1700 msnm, empleando la misma composición de la mezcla alimentada al biodigestor, el biogas producido alcanzó una presión de 12 cm de agua a los 20 días, de lo que se deduce que la temperatura ambiente influye en la producción de biogas.

Según Cepero *et al.* (2012), el ácido sulfhídrico se encuentra en concentraciones próximas al 1% en el biogas, que es suficiente para que ocasione daños graves a los equipos y además cause mal olor. Por tal razón, para la utilización del biogas como combustible se eliminó el H<sub>2</sub>S haciendo pasar el flujo de biogas a través de dos cartuchos de tubo de PVC de 2" rellenos con 4 kg de clavos de fierro (Figuras 2 y 6); este metal reacciona con el H<sub>2</sub>S y se produce FeS, eliminándose de esta manera el H<sub>2</sub>S de la corriente de biogas y con ello el olor a huevos podridos que tiene dicho ácido. Después de pasar por estos cartuchos, el biogas queda inodoro y listo para ser usado como fuente de energía para la cocción de alimentos e iluminación de una vivienda con una lámpara de camiseta.

En base al tiempo de cocción de los diferentes

alimentos evaluados en esta investigación, se evidencia que el biogas es una fuente de energía renovable que cubre el requerimiento diario para preparar el almuerzo de una familia de seis integrantes. Asimismo, se dispone de biogas para una lámpara de camiseta que brinda iluminación a la vivienda. Ambas actividades permiten mejorar la calidad de vida de la familia, debido a que el biogas durante su combustión no humea, no tizne y tampoco genera olor; características que no posee la leña que generalmente se emplea como combustible en el área rural, cuyos humos son irritantes y nocivos para la salud sobre todo de la madre de familia que se encarga de las tareas domésticas, además de apoyar en tareas de campo. Según Dhingra *et al.* (2011), los digestores más pequeños (6 a 10 m<sup>3</sup>) reducen las emisiones de los GEI entre un 23 y un 53 % cuando se comparan con las viviendas sin biogas, dependiendo de la condición del digestor, la asistencia técnica y la habilidad del operario.

Según Decara *et al.* (2004), para garantizar el funcionamiento de una cocina durante seis horas al día, se requieren 2,4 m<sup>3</sup> de biogas/día, que contienen 1,68 m<sup>3</sup> de metano, lo que equivale a 1,45 kg de propano-butano. En la presente investigación se han obtenido resultados muy cercanos a los mencionados; el biogas producido alcanzó una presión de 12 cm de agua en todo el sistema (biodigestor, gasómetro y tuberías de conducción); asimismo se almacenaron 2,53 m<sup>3</sup> de biogas en el gasómetro, debido a que se colocó sobre el gasómetro una alforja con piedra para mantener la presión en ese valor, teniendo en cuenta que la conducción del biogas hacia la vivienda fue de 60 m, con lo que se consiguió hacer funcionar la cocina para la cocción de los alimentos un promedio de 5 horas y 30 minutos por día, quedando aún biogas en el gasómetro. Con el mismo volumen y presión de biogas, se pudo hacer funcionar una lámpara de camiseta durante 5 horas y 22 minutos.

#### V. CONCLUSIONES

Se comprobó que la temperatura ambiente es el único parámetro ambiental que influye en la producción de

biogas. A mayor temperatura ambiente, menor tiempo para producir biogas.

Un biodigestor de geomembrana de PVC de 0,5 mm de espesor y 6,7 m de largo por 1,27 m de diámetro, cargado hasta el 75% de su volumen con mezcla estiércol agua en la proporción 1:5, conectado a un gasómetro del mismo material de 2 m de largo por 1,27 m de diámetro; permite producir y almacenar biogas suficiente para preparar los alimentos de cada día de una familia de seis miembros, lo que requirió un tiempo promedio de 5 horas y 30 minutos. Asimismo el biogas como combustible para una lámpara de camiseta permitió iluminar una habitación de la vivienda durante un promedio de 5 horas y 22 minutos. El biogas contribuye a mejorar la calidad de vida de la familia rural, reduce el impacto de la ganadería al medio ambiente y contribuye a reducir la tala para leña.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahn, J. H. y C. F. Forster. "A comparison of mesophilic and thermophilic anaerobic upflow filters treating paper-pulp-liquors". *Process Biochem*, 38(2002): 257-262.
- Barrena Gurbillón, M. A., L. A. Taramona Ruiz, O. A. Gamarra Torres y M. C. Choy Wong. "Biodigestores tubulares para la producción de biogás". Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú 2013-07776. GRAFICA DAVISAE.I.R.L. Lima (Perú), 2013.
- Bond, T. y M. R. Templeton. "History and future of domestic biogas plants in the developing world". *Energ. Sust. Dev.* 15(2011): 347-354.
- Buddle, B. M., M. Denis, G. T. Attwood, E. Altermann, P. H. Janssen, R. S. Ronimus, C. S. Pinares-patiño, S. Muetzel y N. Wedlock. "Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture". *The Veterinary Journal*, 188(2011): 11-17.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Proyecto de captura de carbono. Lima (Perú), 2009.
- Cepero, L., V. Savran, D. Blanco, M. R. Díaz Piñón, J. Suárez y A. Palacios. "Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores". *Pastos y Forrajes*, 35(2012): 219-226.
- Decara, L., C. Funes, G. Sandoval, C. Issaly y V. Freire. "El uso de biodigestores en sistemas caprinos de la provincia de Córdoba". Universidad Nacional de Rio Cuarto, Córdoba (Argentina), 2004.
- Dhingra, R., E. Christensen, Y. Liu, B. Zhong, C. Fu, M. Yost y J. Remains. "Greenhouse gas emission reductions from domestic anaerobic digesters linked with sustainable sanitation in rural China". *Environ. Sci. Technol*, 45(2011): 2345-2352.
- El-Mashad, H. M., W. K. P. van Loon y G. Zeeman. "A model of solar energy utilisation in the anaerobic digestion of cattle manure". *Biosyst. Eng.* 84(2003): 231-238.
- Gerber, P. J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci y G. Tempio. "Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería. Evaluación global de las emisiones y las oportunidades de mitigación". Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). 129 p. Roma (Italia), 2013.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). "Land use, land use change and forestry. A special report of the IPCC". Cambridge University Press. Cambridge (United Kingdom), 2000.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). "The Scientific Basis. Working Group I, Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Dambridge University Press. New Tork (United States), 2001.
- Jiang, X., S. Sommer y K. Christensen. "A Review of the Biogas Industry in China". *Energ. Policy*, 39(2011): 6073-6081.

- Kim, M., Y. H. Ahn y R. E. Speece. "Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs thermophilic". *Water Res.*, 36(2002): 4369-4385.
- Smith, P. H. "Studies of methanogenic bacteria in sludge". Completion report No. EPA-600/2-80-093. NTIS, Springfield (United States), 1980.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. MCcarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes y O. Sirotenko. Cambridge University Press, Cambridge (United Kingdom), 2007.
- Sommer, S. G., O. P. Søren, P. Sørensen, H. D. Poulsen y H. B. Møller. "Methane and carbon dioxide emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage". *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 78(2007): 27-36.
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales y D. E. Haan Cees. "La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 493 p. Roma (Italia), 2006.
- Roos, K. F., J. H. Martin y M. A. Moser. "AgSTAR Handbook: A manual for developing biogas systems at commercial farms in the United States". Second Edition. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. United States, 2004.
- Werner U., U. Stöhr y N. Hees. "Biogas plants in animal husbandry". GATE – GTZ. Lengericher. Handelsdruckerei, Lengerich (Alemania), 1989.
- Wolfe, R. S. "Microbial biochemistry of methane – A study in contrasts". *Micr. Biochem.*, 21(1979): 335-342.
- Ziekus, J. G. "The biology of methanogenic bacteria". *Bacteriol. Rev.* 4(1977): 514-541.