

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLANTACIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO VERTICAL SEMICONTINUO PILOTO, PARA LA OBTENCIÓN DE GAS METANO Y BIOL A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA EN LA EMPRESA ECOPACIFIC, AMAGUAÑA, PROVINCIA DE PICHINCHA, ECUADOR.¹

¹Silva Alcívar María del Rosario, Escuela Politécnica del Ejército, 2013

RESUMEN

Durante este proyecto se utilizó como sustrato cáscara de naranja y como inóculo bacteriano heces de porcino, para la obtención de gas metano y biol mediante digestión anaerobia. Se tomó en cuenta, las características físicas, químicas y biológicas del sustrato e inóculo. Durante la operación se consideró dos tipos de descarga, una de régimen continuo y otra de régimen semicontinuo de acuerdo a la época de producción de la planta. Se obtuvo biogás a los siete días de digestión, posteriormente se realizaron pruebas de concentración, con las cuales se determinó un factor de 1,5 de la carga diaria para una descarga semicontinua eficiente. Después de 88 días de funcionamiento del biodigestor se obtuvo biogás con una concentración de 64 % de gas metano y 35 % de dióxido de carbono; mientras que el biol tuvo una concentración de 11,4 % de fósforo y 1,9 % de nitrógeno, además de un 73 % de eficiencia en la disminución de DBO5 y un 99 % de eficiencia en la reducción de coliformes y malos olores.

Palabras Claves: biogas, biol, biodigestión anaerobia, biodigestor

ABSTRACT

During this project orange peel was used as a substrate and pig feces as a bacterial inoculum to obtain methane gas and a natural fertilizer resulting from anaerobic digestion. Before the operation of the digester, some physical, chemical and biological analyses from the substrate and the inoculum were considered. During the bio-digestion process, two discharge types were noted, one continuous and the other semi-continuous, depending on the stage of production of the procedure. Biogas was obtained after seven days of bio-digestion. Concentration tests which were performed later, determined a multiplication factor of 1.5 from the daily load to make an efficient comparison with the semi continuous discharge. After 88 days of digester operation biogas was obtained with concentrations of 64 % methane gas and 35 % carbon dioxide. The natural fertilizer had a concentration of 11.4% phosphorus and 1.9 % nitrogen, and 73 % efficiency in BOD5 reduction and 99% efficiency in reducing coliforms and odors.

Key words: methane gas, natural fertilizer, anaerobic digestion, biodigestor.

INTRODUCCIÓN

ECOPACIFIC es una empresa productora de jugos a gran escala, actualmente produce 8 a 12 toneladas semanales de residuos de cáscara de naranja que son enviados al relleno sanitario. Una de las alternativas para gestionar los residuos orgánicos, es el uso de un biodigestor anaeróbico, que contribuya con la digestión bacteriana anaeróbica; con el fin de obtener gas metano y el biol.

La situación actual en lo que se refiere al cambio climático y la contaminación por residuos sólidos orgánicos en el Ecuador, nos obliga a buscar alternativas para la optimización de los residuos, de tal manera que se evite la producción de gases contaminantes que aumente el efecto invernadero, se reduzca el volumen de basura en los rellenos sanitarios y disminuya la contaminación de aguas.

Una de las alternativas para gestionar los residuos orgánicos, es el uso de un biorreactor anaeróbico, que contribuya con

la digestión bacteriana en ausencia de oxígeno con el fin de obtener productos biodegradables y no contaminantes como lo son el gas metano y el biol dándole un valor agregado a los residuos de cáscara de naranja que tienen como fin el relleno sanitario (Monroy y Viniegra, 1981)

Además de obtener energías renovables es importante tomar en cuenta el aspecto sanitario ya que la utilización de un biodigestor aporta indudables beneficios en cuanto a la descontaminación. El tratamiento de los desechos por vía anaeróbica elimina la acumulación de estos a la intemperie evitando la proliferación de moscas, mosquitos, otros insectos y roedores portadores de peligrosas enfermedades, la ausencia de ellos es una condición en la industria alimentaria. (Solano, 2009)

El proceso en si mismo produce una reducción del 90% al 99% de los principales patógenos animales (estafilococos, salmonella, pseudomonas). Esta reducción es muy importante desde el punto de vista del saneamiento ya que está regulado por la temperatura de fermentación y la cantidad de días que permanece la biomasa dentro del digestor (tiempo de retención) (Hilbert,2003).

METODOLOGÍA

El presente proyecto se lo realizó en varias etapas, tomando en cuenta ciertas consideraciones como las condiciones ambientales, las alternativas de tratamiento del sustrato, así como criterios técnicos y económicos como lo menciona López (2009).

1. **Recolección y análisis de la cáscara de naranja:** La cáscara de naranja, sale como residuo del proceso industrial de extracción de jugo en pequeños fragmentos de 1 a 2 cm, se muestreó 1 kilogramo de esta muestra en una funda “ziploc” de 27 cm x 28 cm, se etiquetó y llevó al Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM) de la Escuela Politécnica Nacional, para el análisis de carbono orgánico total, cenizas, DBO₅, DQO, fosfatos, humedad, nitrógeno total, pH,

2. **Recolección y análisis de las heces porcinas:** La heces porcinas fueron recolectadas en la Hacienda el Prado, Ingeniería Agropecuaria de la Escuela Politécnica de Ejército, directamente del canal donde los cerdos la depositan, para el análisis se tomo una funda “ziploc” de 27 cm x 28 cm, fue etiquetada y se llevó al Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM) de la Escuela Politécnica Nacional, y se realizó el análisis de carbono orgánico total, coliformes fecales, coliformes totales, DBO₅, DQO, fosfatos, humedad, nitrógeno total, pH, sólidos suspendidos, sólidos suspendidos volátiles, sólidos totales.
3. **Diseño del sistema de digestión para el tratamiento de cáscara de naranja:** El proceso de digestión de la cáscara de naranja es anaerobio semicontinuo, debido a la producción de cáscara de naranja. Se consideraron los siguientes parámetros como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros considerados para el dimensionamiento del digestor.

Parámetro	Datos
Régimen	Continuo y Semicontinuo
Tiempo retención	30 días
Temperatura	18 – 35°C
% Sólidos	8%
Volumen total	1000 L
Volumen funcional	75%
% Inoculo	15%

Fuente: Acosta, 2011

4. **Construcción del biodigestor anaerobio piloto vertical:** Se adaptó un tanque de 1000 L de plástico. El tanque disponía de una entrada y una válvula de salida. En la entrada ubicada en la parte superior se colocó una tubería PVC de 4” y 60 cm de largo, para facilitar el ingreso del sustrato hacia el fondo del tanque. La válvula de salida existente estaba en la parte inferior del tanque que permite la salida del lodo. Para la salida del biol se colocó en la parte lateral derecha en la mitad del tanque una universal de ¾ a la que se le acoplo una

llave de agua del mismo diámetro, para que facilite la salida del efluente. Para la salida del biogas en la parte superior del tanque se colocó una tubería de color rojo de ½ para la salida del biogas, en la misma tubería se colocó un flujómetro marca IOXYGEN como punto de control para la presión y flujo del gas. Al final de la conexión con la tubería se colocó una válvula check para impedir el regreso del gas y la llama al momento del encendido.

5. **Monitoreo de las cargas:** Se resolvió un sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas, con el fin de determinar el volumen de las cargas, además se utilizó carbonato de calcio para que el pH de la mezcla siempre se encuentre entre 7 y 8. A la mezcla se la mantuvo 5 días al aire libre para la que las condiciones aerobias faciliten la estabilización de bacterias acidogénicas (Guevara, en Acosta, 2011). El control de la temperatura se la realizó con la termocupla, la presión y flujo de salida del gas se controlada mediante el flujómetro y el pH de la mezcla, todos estos controles se los realizaba tres veces al día.
6. **Operación del biodigestor:** Una vez estabilizado el sistema se procedió a cargar el digestor diariamente. Pero debido a que no existe una producción constante de naranja se realizaron dos pruebas de concentración con un factor de 2 y 1,5 de la carga diaria por 15 días, para determinar la concentración óptima de ingreso al digestor de manera semicontinua cuando se requiera. Todas las cargas que ingresaban al digestor poseían un pH entre 7 y 8 y cada vez que se realizaba la carga se retiraba del digestor la misma cantidad. Y se planteó una alternativa de tratamiento en el caso que para la empresa sea difícil la obtención de heces porcinas, en los que también se consideró el régimen continuo y semicontinuo, así como el volumen de carga
7. **Análisis de las muestras:** Una vez obtenido los productos de la biodigestión se realizó, el análisis del efluente y del biogas: El efluente fue recolectado en un frasco de vidrio de un litro de capacidad, la muestra se la llevó

al Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM) de la Escuela Politécnica Nacional, para realizar los siguientes análisis: carbono total, coliformes fecales, coliformes totales, fósforo total, nitrógeno total, pH, sólidos suspendidos, sólidos suspendidos volátiles, sólidos totales. El análisis de biogas fue realizado *in situ* por el personal del Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM) de la Escuela Politécnica Nacional, mediante el equipo TESTO 350XL, que analiza la concentración de CO₂, CO, NO₂, SO₂ y CH en puntos fijos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. **Análisis de las muestras:** Según los análisis obtenidos, el purín de cerdo cuenta con niveles de DBO de 3702 mg/L y DQO de 19600 mg/L, lo que apunta a un tratamiento previo de las muestras de heces antes de su descarga a cualquiera de las fuentes, sin embargo para los fines de estudio, se sugiere que la codigestión de residuos ganaderos y residuos orgánicos en sistemas de mezcla completa es una metodología exitosa tanto en régimen termofílico como en el mesofílico (Brinkman, en Campos, 2001). A pesar que las demás concentraciones de las muestras, están con valores recomendables para el uso como sustrato en el biodigestor, es importante tomar en cuenta el pH de la muestra de la cáscara de naranja, ya que para una óptima digestión anaerobia el rango de pH debe mantenerse entre el 6,5 y 8,0, esto se debe a que el pH es una variable que influye directamente con el crecimiento de microorganismos anaerobios, ya que ellos necesitan un pH lo más cercano a la neutralidad para un correcto crecimiento y desarrollo (Campos, 2001).
2. **Balance de masas:** Como se muestra en la Tabla 2, y de acuerdo a los análisis obtenidos se obtuvo para el ingreso de las cargas inicial: 49 Kg de naranja, 40 Kg de heces y 510 Kg de agua y para la carga diaria: 2 kg de agua, 1,7 kg de heces y 16 kg de agua. Estos datos sugieren que la necesidad de heces porcinas y materia orgánica degradable

en la codigestión anaerobia, es casi similar en peso (kg), lo que quiere decir que juntas llegan a cubrir el requerimiento adecuado para que los microorganismos inicien su digestión de una mejor manera. Según la FAO (2011), la digestión anaerobia se puede llevar a cabo con uno o más residuos con las únicas premisas que contengan material fermentable, y tengan una composición y concentración relativamente estable. La codigestión es una variante tecnológica que puede solucionar problemas o carencias de un residuo, si son compensadas por las características de otro. La primera carga introducida al digestor anaerobio debe tener un tiempo necesario sin adición de otra mezcla hasta la producción de biogas, una vez obtenidos los primeros resultados de biogas es factible realizar la carga diaria, de esta forma se logra que los microorganismos estén adaptados al medio y sean más eficientes en cada ingreso (Guevara et al, 1996).

- 3. Funcionamiento del biodigestor:** Durante el proceso de biodigestión se obtuvo que el pH tuvo un mínimo de 5 y máximo de 7, la temperatura de operación estuvo en un rango de 22,6 °C hasta 41,1 °C, el flujo del biogas fue de 2 L/min hasta 5 L/min y la presión de salida del biogas fue de 28,44 psi hasta 71,10 psi. Según Gómez et al (2007), la temperatura para un buen desarrollo de los microorganismos no puede ser menor a 10°C, como medida preventiva a las bajas temperaturas de la noche en la época seca en el Ecuador se ubicó el digestor dentro de un invernadero. El pH es un factor determinante en la producción de biogas, el control de ésta variable depende de los primeros resultados en su obtención, a pesar que algunos autores como Rivas (2010), Cardona (2004) y Ramos et al (2007), citan que el purín de cerdo requiere de 3 a 5 días en condiciones anaerobias para la producción del biogas, se sabe que cuando se trabaja en codigestión con otra materia orgánica, el tiempo de producción de biogas será de 5 a 15 días (Campos 2001) en este proyecto la

producción de biogas se dio a los 7 días de iniciado el sistema.

- 4. Pruebas de concentración:** En el régimen continuo y de acuerdo a los datos obtenidos, se puede notar un comportamiento similar entre el flujo de producción de biogas y el pH, lo que indica una relación directa entre ellos, ya que durante los días de disminución de pH, también existió una disminución del flujo gaseoso y por lo tanto de la presión de salida del gas, esto se debe al estrés que sufren las bacterias y la muerte de algunas de ellas principalmente las metanogénicas que requieren de un pH entre 7 y 8 para su desarrollo (López 2009, Gómez et al 2007). 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. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden causar la desestabilización del proceso como lo mencionan Campos (2001), Rivera (2010) y East Harbour Management Services (2004). A pesar de que las variables de temperatura y pH son los puntos críticos en el trabajo eficiente de un digestor anaerobio y dentro de los parámetros establecidos ambas deben cumplir rangos de funcionamiento, tienen un comportamiento independiente, lo que permite concluir que en este caso, la variación del flujo en la producción del biogas se debe únicamente al cambio de pH de neutro a ácido, más no a la variación de la temperatura durante el día. En cuanto al régimen semicontinuo debido a que la empresa durante seis meses tiene una producción semicontinua de cáscara de naranja se procedió a realizar la carga de la materia orgánica al pasar un día para simular el proceso de producción durante ese tiempo. Con el fin de mantener la relación C/N de la carga diaria obtenida en la metodología, se probaron dos concentraciones de descarga semicontinua al digestor. Cada una de estas concentraciones se las analizó por 15 días de manera separada. Según los datos obtenidos y como se a una concentración del doble de la carga

diaria, el sistema se estabilizó con una presión de 56,88 psi y un flujo de 4 L/min. Pero al utilizar un factor 1,5 de la concentración de las cargas obtenidas en el balance de masa para la carga diaria, el valor del flujo fue de 5 L/min y una presión de 71,100 psi. Bajo estas condiciones se pudo determinar que la concentración adecuada para una carga semicontinua es la de la segunda concentración con un factor de 1,5 de la carga diaria obtenida. Para la alternativa planteada y según los datos anteriormente obtenidos, el biodigestor tiene un correcto funcionamiento con el régimen continuo que se utilizará los meses de producción diaria de cáscara de naranja y con el factor de 1,5 de la carga diaria pasando un día el régimen semicontinuo por 10 días y se consideró una porción de la mezcla de salida para la recirculación en el sistema. Con la concentración **A1** (continuo) se utilizó 6 kg naranja, 12 kg de agua y 2 kg de recirculación y se obtuvo un flujo de 4 L/min y una presión entre 56,88 psi, mientras que con la concentración **A2** (semicontinuo) se utilizó 9 kg naranja, 18 kg de agua y 3 kg de recirculación el flujo constante fue de 3,5 L/min y una presión de 49,77 psi, estos valores sugieren un funcionamiento satisfactorio del sistema de digestión anaerobia, sin embargo es posible notar que en el régimen continuo existe mayor producción de biogas que en el régimen semicontinuo en la parte inicial. Esto se debe a la cantidad de materia orgánica degradable que poseen las bacterias, sin alterar la relación C/N a mayor concentración de materia orgánica degradable, mayor producción de biogas (López, 2009).

5. **Análisis de los productos (biogas y biol).** *Biogas:* Los resultados obtenidos de concentración de biogas fue de O₂ 0,34%, CO₂ 35, 34% y CH₄ > 45%. Hilbert (2003) y Gómez et al (2007) afirman que el biogas es una mezcla constituida por algunos elementos como CH₄ con una concentración que oscila entre 55 y 70 %, CO₂ entre 27 y 44 %, lo que está acorde con los datos obtenidos. Como se puede observar en la Figura 1 el metano es el principal componente del

biogas, y es éste gas el que le confiere las características combustibles al mismo, como una combustión limpia que no genera humo y casi no contamina. Dentro de las características físicas del biogas se encuentran la capacidad de quemarse sin olores y con llama azul (López, 2009).

Figura 1 Combustión de Biogas y formación de llama azul.



Biol: La utilización de biodigestores, además de permitir la producción de biogas ofrece enormes ventajas en la transformación de desechos. Dentro de las características físicas apreciables en el biol, se puede determinar que la viscosidad del efluente se ve reducida drásticamente debido a la transformación de los sólidos volátiles (un 50% de los mismos son reducidos en un digester en régimen) así como también la reducción de malos olores (Hilbert, 2003). Es importante aclarar que el sistema de biodigestión anaerobia, contiene un concentración C/N de 24,66 inferior a la concentración inicial de la descarga que fue de 29,42; lo que permite comprobar que las condiciones internas del digester se encuentran adecuadas y se ha reducido la cantidad de materia orgánica durante el proceso. A pesar de trabajar con una muestra inicial bastante ácida (cáscara de naranja), el tratamiento previo con carbonato de calcio ha permitido mantener un pH del rango óptimo de funcionamiento del proceso; que ha facilitado la actividad bacteriana y consecuentemente la formación de biogas y biol. Las concentraciones de

nitrógeno son de 1,9 % y de fósforo de 11,4 % estos valores pueden ser suministrados como fertilizantes, según la FAO (2011). Sin embargo cabe recalcar la presencia de coliformes totales en la muestra analizada, ya que algunos autores como FAO (2011), Campos (2001) y Hilbert (2003), hacen hincapié en que un biol de excelente calidad no contiene microorganismos. A pesar de que el valor obtenido en el análisis determina una reducción significativa de la presencia de coliformes, esta pequeña porción obtenida puede deberse a la contaminación al momento de la toma de la muestra.

6. **Eficiencia del sistema:** Con estos resultados obtenidos es posible determinar el porcentaje de eficiencia del biodigestor. La Tabla 3.11 muestra que en términos generales el proceso de digestión anaerobia, es eficiente, ya que redujo un 99,99 %, la concentración de coliformes tanto fecales como totales, un 73,45 % y 77,21 % la concentración de DBO₅ y DQO, respectivamente, del mismo modo hay una eficiencia en la reducción de un 80,12 % de sólidos suspendidos, un 82,77 % de sólidos suspendidos volátiles y un 85,27 % de sólidos totales.
7. **Análisis estadístico:** De acuerdo a los resultados obtenidos, en la toma de datos, se realizó un análisis estadístico de las concentraciones adecuadas, conforme con los intervalos de confianza en función del flujo para un proceso óptimo de biodigestión a partir de la cáscara de naranja. Con estos resultados se puede observar que luego de estabilizar el biodigestor los intervalos de confianza de la concentración 2 no se traslapan con los datos de la concentración 1 por lo que existe diferencia significativa entre los tratamientos y por lo tanto se considera la concentración 2 la adecuada para la descarga semicontinua, es decir un factor de 1,5 de la carga diaria. Además que de acuerdo a los resultados experimentales obtenidos en el tiempo de generación de biogas se aceptó la hipótesis nula y se rechazó la hipótesis alternativa.

CONCLUSIONES De acuerdo con los datos obtenidos durante el proceso de biodigestión anaerobia el parámetro más crítico a considerar durante la operación es el pH. Éste fue el indicador determinante en la cantidad de flujo de biogas obtenido. De acuerdo a los datos obtenido el digestor mantuvo las condiciones óptimas de funcionamiento, lo que también facilitó la obtención de biogas inflamable, es decir con mayor concentración de metano a los 31 días de inicio de la operación. Y la calidad de biogas obtenida consta de un 65 % de gas metano y un 35 % de CO₂. Y los resultados del biol contienen concentraciones adecuadas de nitrógeno, carbono y fósforo, característico de un buen abono, además de ser biodegradable. En los análisis obtenidos se determinó porcentajes de eficiencia mayores al 75 % en cuanto a la disminución de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos, sólidos suspendidos volátiles, sólidos totales, además de una reducción notorias entre el olor entre de las heces porcinas y el biol, y la eficiencia de reducción de coliformes fue de 99 %.

RECOMENDACIONES Es importante realizar un estudio de la mezcla, con el fin de diseñar un sistema de agitación y mejorar la producción de biogas., así como realizar un estudio de la variación de temperatura en la noche para obtener así un rango de operación más específico. Debido al pH de la cáscara de naranja es indispensable realizar un tratamiento previo para controlar el pH de la muestra. Y de acuerdo a las variaciones de pH y su relación directa con la producción de flujo se recomienda utilizar un sistema automatizado para el control de pH. De la alternativa analizada en el caso de la poca disponibilidad de heces, se recomienda hacer algunas pruebas de concentración, variando pesos, para determinar las concentraciones óptimas de producción de biogas, en esas circunstancias. Para la época fría de la zona en la que se encuentra la empresa se recomienda colocar un aislante térmico. Debido a la gran cantidad de cáscara de naranja que tiene la empresa, es posible utilizar un sistema de digestión en serie o en paralelo.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, N. (2011). Diseño, construcción y operación de un digestor anaerobio piloto para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos del zoológico de Quito. Quito.
- Aparcana, S. y Jansen, A. (2008). Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “fermentación anaeróbica” para producción de biogas. Alemania.
- Bailey, N. (1985). Statistical methods in biology. United Kingdom.
- Buenrostro, O., Silke, C., Bernache, G., Bocco, G. (2000). La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. México.
- Campos, A. (2001). Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. España.
- Cardona, A., Sánchez, O., Ramirez, J. y Alzate, L. (2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. Colombia.
- Castañeda, S. (2007). Efecto de control de pH, temperatura y adición de nitrógeno sobre la digestión anaerobia de residuos hortícolas. México.
- Cegarra, J., Sánchez, M., Roig, A. y Bernal, M. (1994). Sequential extraction of heavy metals from composting organic wastes .En: Etchevers, J.D. (Ed.). pp. 158-159. Transactions of the 15th international congress of soil science, Vol. 3b. International Society of Soil Science, México.
- Chamy, R. y Vivanco, E. (2007). Potencial de Biogas. Chile.
- Chinappi, I. y Jerez, A. (2009). Biodigestión anaeróbica de la pulpa de café. Propuesta de saneamiento ambiental y ahorro energético. Venezuela.
- Chugandro, R. y Manitio, G. (2010). Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.
- Domínguez, P. y Ly, J. (2000). Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados. Cuba.
- East Harbour Management Services (2004). Bioenergy Assessment – Fruit and vegetable residue to energy. Nueva Zelanda.
- Esquer, R. (2009). Reciclaje y tratamiento de residuos sólidos urbanos. México.
- FAO. (1986). Estudio potencial bioenergético de desechos agroindustriales y agrícolas. Seminario Taller sobre Biogas y otras fuentes alternas de energía en el medio rural. Colombia.
- García, J. (2005). Análisis de datos en los estudios epidemiológicos IV, estadística inferencial.
- García, M. (2003). Estimación por intervalos de confianza. España.
- Gaspar, L. y Matos, A. (2007). Producción de Biogas por digestión anaeróbica de residuos vegetales. Perú.
- Gómez, X., Cuetos, M., García, A. y Morán A. (2007). Digestión anaerobia en dos fases. España.
- González, M., (1999). Seminario de caracterización de microorganismos. México.
- Groppelli, E., Muesati, J., Pampinella, B. & Giampaoli, O. (2001). Biodigestor anaeróbico para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en pequeñas comunidades. Argentina.
- Guevara, A. (1996). Fundamentos Básicos para el Diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de Gas y Saneamiento de efluentes. Lima.
- Heredia, A. (2010). Naranja, un estudio agroindustrial: competitividad de la cadena de

- valor y perspectivas del mercado. Ecuador.
- Hilbert, J. (2003). Manual para la Producción de Biogas, Instituto de Ingeniería Rural, Argentina.
 - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). Biomasa: Digestores Anaerobios. Madrid.
 - Jaramillo, G. y Zapata L. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Colombia.
 - López, C. y López O. (2009). Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaerobio continuo para el laboratorio de ingeniería química de la facultad de ciencias químicas de la Universidad Veracruzana. México.
 - López, G. y Beltrán, R. (2005). Digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos (RSU). Estimación del tiempo de retención dependiendo de la concentración de sólidos y de la presencia o no de inóculo. Colombia.
 - Mahmood, A., Greenman, J. y Scragg A. (1998). Orange and potato peel extracts: Analysis and use as Bacillus substrates for the production of extracellular enzymes in continuous culture. United Kingdom.
 - Martí, N. (2006). PHospHrous precipitation in anaerobic digestion process. Estados Unidos.
 - Martín, M., Siles, J., El Bari, H. & Chica, A. (2001). Orange peel: organic waste or energetic resource?. España.
 - Márquez, F. (2008). Manejo seguro de residuos peligrosos. Chile
 - Monroy, O. & Viniegra, G. (1981). Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. México.
 - Navarro, P., Moral, H., Gómez, L. y Mataix, B. (1995). Residuos orgánicos y agricultura. España
 - Organización panamericana de la salud (OPS). (2002). Análisis sectorial de residuos sólidos del Ecuador. Ecuador.
 - Pérez, J. (2010). Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en ganaderos y lecheros. Chile
 - Potschka, J. & Acosta G. (2012). Energía limpia y fertilizante. Argentina.
 - Ramírez, D. (2007). Control y eliminación de compuestos volátiles provenientes de un digestor anaerobio mediante biofiltración. México.
 - Ramos, J. y Hernández, J. (2007). Implementación de un biodigestor anaerobio para la generación de energía eléctrica a partir de lodos activados, producto del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Abasolo. México.
 - Razo, E. y Villafuerte, M. (2007). Diseño, construcción y pruebas de un biodigestor experimental para fines didácticos. Ecuador.
 - Rivas, O.; Faith, M. y Guillén R. (2009). Biodigestores, factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. Ecuador.
 - Rivera, M. (2010). Producción de abono orgánico y biogas mediante biodigestión anaeróbica de lodos activos. Chile.
 - Ruiz, J. (2005). Estudio técnico y económico de un proceso industrial para la obtención de gas metano a partir de desechos orgánicos. México.
 - Sánchez, M. y Pazmiño, G. (2007). Diseño y construcción de un biodigestor plástico de flujo continuo, a partir de desechos orgánicos para la Hacienda San Antonio del IASA II, perteneciente a la ESPE. Ecuador.
 - Sigcha, R. (2010). Diseño de un sistema para la obtención de biol mediante residuos sólidos orgánicos generados en el cantón Joya de los Sachas. Ecuador.
 - Tipán, R. y Yáñez, J. (2011). Modelo de gestión de residuos sólidos en áreas rurales. Ecuador.

- Vargas, G. (2005). Estudio de la generación de biogas, a partir de la sinergia en mezclas de algas marinas biodegradadas en un sistema de bioconversión anaerobia de dos etapas. Tesis de pregrado. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile
- Vereda, A., Gómez, C. y García, F. (2006). Producción de biogas a partir de residuos vegetales (I y II). España.
- Vizquez, J. (2009). Biogas: energía recuperable, análisis energético y económico de su potencial en finca lecheras.

WEBGRAFÍA

- Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ). (2004). Cultivo de naranja. [En línea]
http://webmail.radiomaranon.org.pe/redmaranon/archivos/naranja_cultivo.pdf
(12 julio del 2012)
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), (2003). Diagnóstico del sistema producto cítricos. [En línea]
<http://www.fira.gob.mx/Nd/index.jsp>
(28 agosto del 2012)
- Figueras, S., Gargallo, P., (2003) Análisis exploratorio de datos. [En línea]
<http://ciberconta.unizar.es/Leccion/aed/ead.pdf>
(6 febrero del 2012)
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMIH). (2012). [En línea]
<http://www.inamhi.gob.ec/>
(23 junio del 2012)
- Martí, J. (2008). Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares. Bolivia. [En línea]
<http://es.scribd.com/doc/52894858/6/Temperatura-y-Tiempo-de-Retencion>
(23 junio del 2012)
- Sosa, R., Chao, R. y Del Río, J. (1999). Aspectos bioquímicos y tecnológicos del tratamiento de

residuales agrícolas con producción de biogas. Cuba [En línea]
<http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rev62/RCPP62art1.htm>
(18 septiembre del 2012)