

Calidad de biogás y biol obtenidos a partir residuos orgánicos domésticos pretratados con la técnica del bocashi

QUALITY OF BIOGAS AND ORGANIC FERTILIZER OBTAINED FROM DOMESTIC ORGANIC RESIDUES PRE TREATED BY BOKASHI TECHNIQUE

José Cárdenas C.¹, Lawrence Quipuzco U.², Víctor Meza C.³

RECIBIDO: 14/10/2013 – APROBADO: 20/12/2013

RESUMEN

La creciente generación de residuos orgánicos y desechos agropecuarios producto de actividades humanas, así como la mala disposición final en su manejo, nos hace pensar en la necesidad de aplicar nuevas tecnologías con el fin de mejorar el ambiente y la economía de las poblaciones. Estos desechos poseen un valor económico potencial y son una fuente importante de materia prima para biodigestores que en su aplicación minimizan su impacto al ambiente. El trabajo de investigación consistió en utilizar el estiércol de vaca y los residuos orgánicos del comedor de la Universidad Agraria La Molina (UNALM) con el fin de generar biofertilizantes y biogás mediante biodigestores. Se utilizó como tratamiento previo a los residuos orgánicos, el bocashi, que consistió en la aplicación de microorganismos benéficos para la degradación de los residuos orgánicos.

Se emplearon tres tratamientos: el Tratamiento 1 estuvo alimentado con residuos orgánicos del comedor, el Tratamiento 2 con estiércol de vaca y el Tratamiento 3 con mezcla de residuos orgánicos del comedor y estiércol de vaca. La calidad del biogás en promedio fue de 58.6 % de CH₄ y 32.6 % de CO₂ en el Tratamiento 3; 55 % de CH₄ y 32 % de CO₂ en el Tratamiento 2 y 26.2 % de CH₄ y 30.1 % de CO₂ en el Tratamiento 1. La producción de biogás fue de 0.23 m³/kg ST para el Tratamiento 2, seguido por el Tratamiento 3 con 0.20 m³/kg ST, y 0.009 m³/kg ST para el Tratamiento 1. El resultado del análisis de biol nos muestra que contiene buenas cantidades de nutrientes que pueden ser aprovechados por los cultivos al utilizarlo como biofertilizante. La concentración de coliformes fecales y coliformes totales en el análisis microbiológico del biol demostraron que se encuentran por debajo de los límites de la legislación peruana para aguas con fines de riego. El uso del bocashi como pretratamiento de los residuos orgánicos permite obtener un mejor resultado en la producción y calidad del biogás y biol.

Palabras clave: Biodigestor, biofertilizante, biogás, bocashi, microorganismos benéficos.

ABSTRACT

Increasing generation of organic and agriculture residues as a product of both human activities and poor final disposal of these residues, leads us to think on new techniques to improve environmental quality and population income. Organic residues have a potential economic value as a raw material for bio digesters minimizing at the time environmental pollution. This study tests the feasibility of bio fertilizer and bio gas production in bio digesters using cattle manure and organic residues from the dining room of La Molina Agrarian University. Bokashi pretreatment method used for this test, consists of applying beneficial microorganisms for degrading organic waste. Three treatments 1, 2 and 3, were tried using organic residues from dining hall, cattle manure and a mixture of organic waste from dining hall and cattle manure respectively.

The average quality of bio gas attained arranged from higher to lower was as follows: Treatment 3, 58.6 % CH₄, 32.6 % CO₂. Treatment 2, 55 % CH₄, 32 % CO₂ and Treatment 3, 26.2 % CH₄, 30.1 % CO₂. On the other hand bio gas production in order of importance was: Treatment 2, 0.23 m³/kg ST, Treatment 3, 0.20 m³/kg ST and Treatment 1 0.009 m³/kg ST. Bio fertilizer analysis shows high levels of nutrients and thus it can be used for soil improvement in agriculture. Fecal and total coliform levels by microbiological analysis, were below Peruvian normal levels for irrigation water. We conclude that bokashi pretreatment method of organic residues allows acceptable production levels and quality of bio gas and biol.

Key words: Bio digester, bio fertilizer, bio gas, bokashi, beneficial microorganism.

1 Ingeniero Ambiental, egresado de la UNALM

2 Docente de la Facultad de Ciencias. Correo electrónico: lquipuzco@lamolina.edu.pe

3 Docente de la Facultad de Ciencias. Correo electrónico: vmeza@lamolina.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Los biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable. El aprovechamiento del biogás impulsa la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero como el metano, cuyo potencial de calentamiento global es 23 veces mayor que el del dióxido de carbono (Campero *et al.*, 2008).

El biodigestor produce dos efluentes residuales importantes: el biogás, esencialmente metano (que puede ser utilizado como fuente de energía), y dióxido de carbono; y un efluente líquido llamado biol que puede utilizarse como acondicionador de suelos por sus características fisicoquímicas.

En esta investigación se utilizó un tratamiento previo para los residuos orgánicos, denominado bocashi, el cual, es una técnica con microorganismos benéficos que permite obtener abonos orgánicos fermentados. Dicha técnica se empleó como sustituto al pre-compostaje que se utiliza tradicionalmente para degradar estos tipos de materias orgánicas antes de ser usados en los biodigestores.

El bocashi experimenta un proceso de descomposición similar al del compost, con la diferencia de que tiene como base de activación un inóculo de microorganismos efectivos que favorecen el proceso de fermentación ácido-láctica. Estos microorganismos forman un cultivo microbiano mixto de especies benéficas seleccionadas (bacterias ácido-lácticas, levaduras, bacterias fotosintéticas y actinomicetos), que se utilizan como inóculo para hacer varios tipos de abonos y también para depurar aguas residuales y aguas superficiales contaminadas (Andrés y Rodríguez, 2008). El bocashi se puede preparar aeróbico o anaeróbicamente, dependiendo de los materiales y de las necesidades de cada situación en particular. Este abono puede ser utilizado en la producción de cultivos, aun cuando la materia orgánica no se haya descompuesto del todo (Shintani *et al.*, 2000).

El objetivo general de este estudio es producir biogás y biol a partir de la mezcla de residuos orgánicos del comedor pretratados con la técnica del bokashi con estiércol de ganado vacuno en biodigestores semicontinuos y, como objetivos específicos, medir y analizar la eficiencia de diferentes tratamientos: Tratamiento con residuos orgánicos del comedor, Tratamiento con estiércol de vaca y Tratamiento con la mezcla de residuo orgánico y estiércol de vaca.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), por un período aproximado de 9 meses, desde de marzo de 2011 a enero de 2012.

El diseño experimental fue un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos diferentes y tres repeticiones. Los tratamientos fueron los siguientes: Tratamiento 1 (Residuo Orgánico): Bocashi en base a residuos orgánicos + chala de maíz + agua. Tratamiento 2 (Estiércol de Vaca): Estiércol de vaca + chala de maíz + agua. Tratamiento 3

(Mezcla): Bocashi en base a residuos orgánicos + estiércol de vaca + chala de maíz + agua.

Se construyeron prototipos de biodigestor utilizando cilindros de plástico de 20 galones (75.7 litros o 0.08 m³) como contenedor. Se fabricó la entrada y salida para la carga de muestra, una salida para el biol, un homogenizador o agitador de muestra y las tuberías necesarias para la captación del gas en un gasómetro.

Se prepararon los microorganismos benéficos en base a los ingredientes y concentraciones dado por Meza (2011) como son: col fresca y agua en relación 1:1, sal al 5 %, hígado de cerdo o vacuno al 10 % y melaza al 10 % con lo cual se obtiene un ambiente microbiano con pH cercano a 3.

Se calculó el porcentaje de utilización de los microorganismos benéficos para preparar el bokashi realizando una prueba de aproximadamente una semana con dos concentraciones de microorganismos, una de 20 % y otra con 30 % en residuos orgánicos del comedor de la UNALM (relación peso/peso). Al final se analizó el nivel de pH y degradación de los residuos orgánicos. El porcentaje óptimo fue agregar 30 % de microorganismos benéficos a los residuos orgánicos.

Conociendo la cantidad de sustratos necesarios a utilizar para cada tratamiento, se colectó 22.54 kg aproximadamente de residuos orgánicos del comedor universitario de la UNALM. Luego se tomaron muestras diarias de 3 kg por un periodo de 9 días. Seguidamente se realizó una segregación para eliminar los plásticos, cartones y huesos grandes. Luego se colectaron los residuos orgánicos del comedor en un cilindro, y se les agregó el porcentaje indicado (30 % de microorganismos benéficos). Después se dejó actuar la combinación por espacio de 3 a 4 días y se procedió a mezclar y triturar dichos residuos. Se tomó una relación carbono/nitrógeno óptima de 30. A los tres tratamientos se le agregó una fuente rica en carbono como la chala de maíz para iniciar el proceso de biodigestión. Se empleó una concentración de carga de 5 % de sólidos totales (materia seca). Se utilizó purín de cerdo como inóculo en un 10 % (4.7 litros) del volumen de la parte líquida del biodigestor. Se calculó la carga semanal de los biodigestores semicontinuo que representó al 4 o 5 % del volumen total.

Luego de la carga inicial de los biodigestores se abrieron las llaves de paso del biogás, el cual fue recolectado en unos flotadores que hicieron la función de gasómetros. El biogás recolectado fue medido periódicamente por medio del equipo LANTEC modelo GEM 500 y su volumen registrado con la ayuda de un medidor de volumen en base a desplazamiento de agua. El pH final del bokashi fue de 4.2.

El Tratamiento 1 (residuo orgánico) y el Tratamiento 3 (mezcla de residuos orgánicos y estiércol de vaca) fueron combinados con cal blanca con el fin de subir su pH periódicamente en la primera semana. Se analizaron los siguientes parámetros.

2.1 Composición del biogás

Se utilizó el equipo analizador de gases LANTEC GEM 500 (Gas Extraction Monitor), el cual nos proporciona datos de CH₄, CO₂, O₂ y otros (trazas) en porcentaje de

volumen. Las mediciones fueron diarias para las primeras 5 semanas, luego fueron 2 veces por semana hasta el término de la experimentación. En la Figura N.º 1 podemos apreciar la toma de datos.



Figura N.º 1. Toma de datos con el equipo LANTEC GEM 500.

2.2 PH

Se utilizó el potenciómetro proporcionado por el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UNALM. Las mediciones fueron diarias las primeras 5 semanas y 2 veces por semana hasta terminar el experimento.

2.3 Temperatura

La temperatura se midió con el equipo de Gas por Extracción, marca LANTEC, modelo GEM500, el cual tiene un sensor de temperatura. Los datos de temperatura ambiental se obtuvieron de la UNALM, a través del observatorio Alexander Von Humboldt.

2.4 Volumen del biogás

El volumen del biogás fue medido periódicamente cada vez que los gasómetros estaban llenos. Para medir el volumen del biogás se fabricó un mecanismo que funciona en base al desplazamiento del líquido contenido en un bidón hermético.

2.5 Microbiológicos

Se tomaron muestras de biol en los 9 biodigestores. Los análisis microbiológicos que se realizaron fueron los de coliformes totales, coliformes fecales y E. Coli para el biol, y recuento de *Lactobacillus* para los microorganismos benéficos, los cuales se analizaron en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabusso de la UNALM.

2.6 Nutrientes y conductividad

Se tomaron muestras de biol en los 9 biodigestores para ser llevados al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la UNALM para un análisis especial de materia orgánica.

Para validar los datos estadísticamente se utilizaron los programas IBM SPSS STATISTICS 20 y STATGRAPHICS CENTURION XVI, haciendo uso del análisis de varianza (ANOVA), coeficiente de variabilidad y una prueba para medir la diferencia de los valores de las medias (comparaciones múltiples de medias) mediante el Tukey.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura N.º 2 se aprecia la variación de la temperatura interna del biodigestor y la temperatura ambiental desde el inicio de la carga de los biodigestores hasta el término del estudio. La temperatura promedio de los diferentes tratamientos permanece por encima de la temperatura ambiental, registrándose en esta última una temperatura mínima de 16.4 °C y una máxima de 24 °C. Se observa que la temperatura se incrementa hasta antes de alcanzar el tiempo de retención hidráulico (30 días), periodo en el cual se va aumentando gradualmente la actividad metanogénica. Con el aumento en el rango de temperaturas se aumenta la velocidad de crecimiento de las bacterias y con esto la velocidad en la producción de biogás (Flotats *et al.*, 1997).

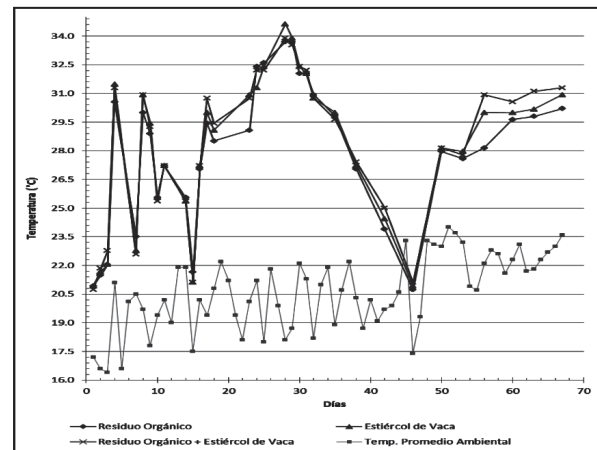


Figura N.º 2. Variación de la temperatura interna de los biodigestores y la temperatura ambiental.

Respecto al comportamiento del pH al inicio del proceso presentó un pH ácido alrededor de 4 para los sustratos de residuo orgánico y la mezcla de residuo orgánico con estiércol de vaca, debido a que previamente se le aplicó la técnica del bokashi a los restos de comida fresca. Para poder controlar este pH bajo se le agregó a los sustratos un preparado de cal, el cual permitió subir el pH hasta valores de 6.5 a 7. Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8. El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por lo tanto, tiene menores cualidades energéticas (Martí, 2006).

En la Figura N.º 3 vemos los resultados de la composición del biogás. El mayor porcentaje de CH₄ lo obtuvo el tratamiento de estiércol de vaca con un 52.6 %, seguido del tratamiento de residuo orgánico mezclado con estiércol de vaca con 51.9 %, mientras que el tratamiento con residuo orgánico obtuvo un 24.4 %. Los niveles promedios de CO₂ en los 3 tratamientos son similares, el menor fue de 29.8 % para el tratamiento con residuo orgánico y el mayor fue de 33.2 % para el tratamiento con residuo orgánico mezclado con estiércol de vaca.

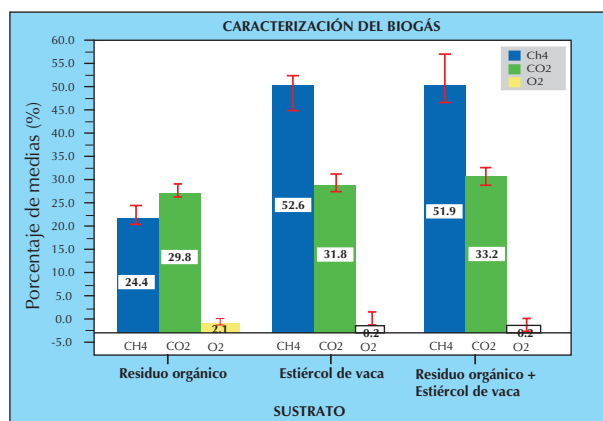


Figura N.º 3. Composición promedio del biogás en los tratamientos.

En la Figura N.º 4 apreciamos la evolución del volumen de biogás generado en cada uno de los tres tratamientos. Se obtuvo un máximo de 132.5 litros para el tratamiento con residuo orgánico mezclado con estiércol de vaca. En segundo lugar se encuentra el tratamiento con estiércol de vaca con 125.8 litros y en tercer lugar el tratamiento con residuo orgánico con 15.2 litros.

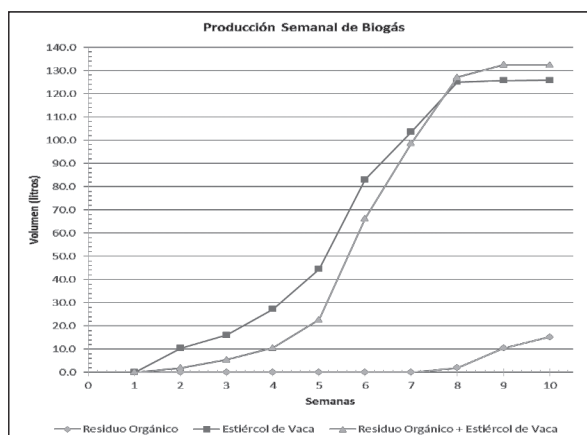


Figura N.º 4. Producción de biogás en los diferentes tratamientos.

La mayor producción de biogás lo obtuvo el tratamiento con residuo orgánico mezclado con estiércol de vaca en la semana 9. Esta fue de 0.4 m³ de biogás por m³ de biodigestor por día. Para el tratamiento con estiércol de vaca la mayor producción lo obtuvo en la semana 10 y fue de 0.38 m³ de biogás por m³ de biodigestor por día. Por último la producción del tratamiento con residuo orgánico en la semana 10 fue de 0.05 m³ de biogás por m³ de biodigestor por día.

Si hablamos de la producción de biogás en términos de m³/kg sólidos totales (ST) tenemos que el tratamiento con estiércol de vaca genera 0.23 m³/kg ST, seguido por el tratamiento con residuo orgánico mezclado con estiércol de vaca con 0.20 m³/kg ST, y en último lugar tenemos al tratamiento con residuo orgánico con 0.009 m³/kg ST. Si comparamos estos resultados con el rango indicado por Guevara (1996), el cual nos dice que la tasa de generación de biogás para el estiércol de vaca es de 0.2 a 0.5 m³/kg ST; la generación de biogás en el tratamiento con estiércol de vaca y el tratamiento con residuo orgánico mezclado con estiércol de vaca se encuentran dentro de este rango mínimo de producción.

En la Tabla N.º 1 podemos apreciar los resultados de los análisis realizados a los bioles al finalizar el estudio. El pH de los bioles en todos los tratamientos se encuentran ligeramente neutros, pero el tratamiento con residuo orgánico obtienen valores más bajos en comparación con el resto debido a la naturaleza del sustrato ya que son residuos de comida.

La materia orgánica en solución muestra mayores valores para el tratamiento con residuo orgánico, seguido por el tratamiento con la mezcla y al final el tratamiento con estiércol de vaca. Las cantidades de N, P y K muestran una tendencia similar al resto de nutrientes, encontrándose que el tratamiento con residuo orgánico y el tratamiento con la mezcla obtienen resultados parecidos.

Los diferentes sustratos estudiados poseen una buena cantidad de nutrientes que pueden ser utilizados por los cultivos. Al encontrarse en forma líquida, la absorción por las plantas es más eficiente. El tratamiento con residuo orgánico y el tratamiento con residuo orgánico mezclado con estiércol de vaca son los que contienen mayores cantidades de nutrientes.

En la Tabla N.º 2 se observan los resultados del análisis microbiológico del biol en los diferentes tratamientos. Los resultados de la presencia de organismos microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*) en promedio, son muy bajos. Al comparar los resultados con el Estándar de Calidad Ambiental para Agua D.S. 002-2008-MINAM de la legislación peruana para el uso de agua de clase 3 para fines de riego, que establece como máximo de 5.000 NMP/100 ml en coliformes totales y 1.000 NMP/100ml en coliformes fecales, obtenemos niveles por debajo de estos límites, haciéndolas idóneas para su aplicación como fertilizante natural. Esta legislación también indica que el límite máximo de la presencia de *Escherichia coli* es 100 NMP/100 ml. El tratamiento con estiércol de vaca sobrepasa en poca cantidad el límite máximo de *Escherichia coli*, pero los resultados encontrados en los demás tratamientos se encuentran por debajo del rango indicado.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que los residuos orgánicos del comedor universitario de la UNALM mezclados con estiércol de vaca son aprovechables para la producción de biogás, y un biol rico en nutrientes. Este tratamiento dio resultados más favorables que el tratamiento solo con estiércol de vaca.

Tabla N.º 1. Composición de los bioles en los tratamientos

Repetición	Tratamiento	pH	C.E. Ds/m	M.O. en solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
1	RO	6.39	23.7	15.8	980	52.21	1252	4868	194	ND
2	RO	5.72	23.9	16	1092	50.69	1376	4268	196	140
3	RO	6.63	23.4	13.5	966	28.29	1404	4064	204	148
1	EV	7.02	11	7	700	55.24	946	876	324	476
2	EV	6.65	8.32	6.1	742	55.24	648	660	256	420
3	EV	6.67	9.03	7	588	41.01	672	760	256	412
1	RO+EV	6.69	16.8	10	931	28.89	1106	2012	234	876
2	RO+EV	6.69	15.4	8.3	728	31.89	1052	1668	220	812
3	RO+EV	6.68	15.9	8.2	784	17.39	1092	1640	220	836

RO = Tratamiento con residuos orgánicos

EV = Tratamiento con estiércol de vaca

RO + EV = Tratamiento con la mezcla de residuos orgánicos y estiércol de vaca

Tabla N.º 2. Resultado del análisis microbiológico

Análisis Microbiológicos	Residuo Orgánico	Estiércol de Vaca	Residuo Orgánico + Estiércol de Vaca
Enumeración de Coliformes Totales (NMP/100ml)	4	50 x 10	40
Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/100ml)	4	50 x 10	40
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)	4	15 x 10	4

El biogás obtenido por los biodigestores con tratamiento con residuo orgánico mezclado con estiércol de vaca y el tratamiento con estiércol de vaca fueron de buena calidad, alcanzando un máximo de 58.5 % y 55 % de CH₄ respectivamente, siendo de gran utilidad para satisfacer los requerimientos de energía a nivel doméstico y de producción. Se obtuvo un buen volumen de biogás, obteniendo valores máximos para el tratamiento con residuo orgánico mezclado con estiércol de vaca de 0.4 m³ biogás/m³ biodigestor/día y de 0.38 m³ biogás/m³ biodigestor/día para el tratamiento con estiércol de vaca. Para el tratamiento con residuos orgánicos mezclados con estiércol de vaca, se obtienen mejores resultados en producción y calidad de biogás y biol. Los patógenos, los olores y vectores, en la etapa de pre-tratamiento, fueron eliminados gracias al procedimiento del bokashi que acelera la reacción de degradación de los sustratos, evitando el paso de putrefacción y desarrollándose en su lugar una fermentación ácido láctico. Respecto a la composición del biol en los tratamientos se demostró que contienen buena cantidad de nutrientes que pueden ser aprovechados por los cultivos al utilizarlos

como biofertilizante. Al encontrarse en forma líquida, la absorción por las plantas es más eficiente.

Los coliformes fecales y coliformes totales se encuentran por debajo de los límites de la legislación peruana para aguas con fines de riego y, las concentraciones de *Escherichia coli* de los tres tratamientos estuvieron ligeramente por encima del estándar antes mencionado.

V. BIBLIOGRAFIA

- Andrés, P. y Rodríguez, R. 2008. Evaluación y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica. España. ISBN: 978-84-96742-37-6. 400p.
- Campero, O., Kristinc, G., Cuppens, T. y Mizme, P. 2008. Implementación del programa de mitigación de los efectos negativos del gas metano CH₄, con la ejecución de acciones integrales de energías renovables y medio ambiente en el área rural de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz. Bolivia. pp 1-36.

3. Flotats, X., Campos, E. y Bonmati, A. 1997. Aprovechamiento energético de residuos ganaderos. España. 21 p.
4. Guevara, A. 1996. Fundamentos básicos para el Diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Organización Panamericana de la Salud. Perú.
5. Higa, T. y Parr, J. 1994. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. Japan. 84 p.
6. Martí, N. 2006. Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process. USA. ISBN: 1-58112- 332-9.
7. Meza, V. 2011. Receta de Microorganismos Efectivos. Entrevista personal. Departamento de Biología. UNALM.
8. Shintani, M., Leblanc, H. y Tabora, P. 2000. Bokashi (Abono Orgánico Fermentado). Tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. Costa Rica.