

# Degradación anaerobia del contenido gástrico ruminal bovino para la obtención de biogás, en un biodigestor tipo cúpula

José Ramón Laines Canepa<sup>1</sup> y José Aurelio Sosa Olivier<sup>1</sup>

*Fecha de recepción: 6 de septiembre de 2012 – Fecha de aprobación: 26 abril de 2013*

## RESUMEN

Una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos es el uso de biodigestores anaerobios. En 2010, se construyó un biodigestor anaerobio tipo cúpula a escala real en la División Académica de Ciencias Biológicas. Es una celda sobre el suelo de 67 m<sup>3</sup>, aislada térmicamente con geomembrana de polivinilo de cloruro. Cuenta con tubería de conducción de biogás y recirculación de polivinilo de cloruro. El proceso inicia con el acopio y transporte del contenido gástrico ruminal bovino (rumen) y con la medición de Humedad, Sólidos Volátiles y Cenizas. La alimentación es una mezcla rumen: agua en proporción 4:1. Se agita hidráulicamente con una bomba autocebante. Durante 90 días se monitoreó el Oxígeno disuelto, pH y la temperatura. La DQO se determinó al inicio, 30 y 60 días. La composición del biogás a los 30, 60 y 90 días. Los resultados obtenidos fueron Humedad, 87.85%; Sólidos volátiles, 85.56%; y 14.44% de Cenizas. Las concentraciones en % volumen para el CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, 62.80±3.42% y 30.75±0.62%, respectivamente. La concentración de H<sub>2</sub>S fue de 15.96±0.19 ppm. Los valores de DQO inicial fueron de 60000 mg/l y a los 60, 5150 mg/l. Como se observa una degradación del 91% de la materia orgánica se suspendió la agitación durante los últimos 30 días. Al término de este periodo, se caracteriza el biodigestato resultante, determinando concentraciones de N, P y K. La finalidad de esta investigación es promover en el trópico húmedo la aplicación de este sistema en el tratamiento de residuos orgánicos.

**Palabras claves:** Biogás, contenido gástrico ruminal bovino, geomembrana, metano, sólidos volátiles.

## Anaerobic degradation of gastric contents ruminal bovine for obtaining biogas in a digester dome

### ABSTRACT.

An alternative to the use of organic waste is the use of anaerobic digesters. In 2010, we built a dome anaerobic digester scale in the Academic Division of Biological Sciences. A cell is about 67 m<sup>3</sup> of soil thermally insulated with polyvinyl chloride geomembrane. There biogas conveyance piping and recirculation of polyvinyl chloride. The process begins with the collection and transport of bovine ruminal gastric contents (rumen) and measuring humidity, volatile solids and ash. The feed is a mixture rumen: water in ratio 4:1. Stir hydraulically with a pump priming. For 90 days were monitored dissolved oxygen, pH and temperature. The COD was determined at baseline, 30 and 60 days. The composition of biogas at 30, 60 and 90 days. The results were Humidity, 87.85% volatile solids, 85.56% and 14.44% ash. Concentrations in volume% for CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>, 62.80 ± 3.42% and 30.75 ± 0.62% respectively. The H<sub>2</sub>S concentration was 15.96 ± 0.19 ppm. The initial COD values were 60000 mg / l and 60 days, 5150 mg/l. As seen a degradation of 91% of organic matter was suspended stirring for the last 30 days. At the end of this period characterized the resulting biodigestato, determining concentrations of N, P and K. The purpose of this research is in the humid tropics promote the application of this system in the treatment of organic waste.

**Key words:** Biogas, bovine ruminal gastric contents, geomembrane, methane, volatile solids.

---

<sup>1</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Correo electrónico: Josra\_2001@yahoo.com.mx.

**Nota:** El período de discusión está abierto hasta el 1° de noviembre de 2013. Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 17, No. 1, 2013, ISSN 1665-529-X.

## INTRODUCCIÓN

La digestión anaerobia es una de las soluciones para el tratamiento de los residuos orgánicos que permite aprovechar la biomasa como fuente de energía renovable. Se obtienen compuestos altamente energéticos que pueden ser utilizados para la obtención de energía calorífica, o energía eléctrica (Kaiser *et al.* 2002). Desde el surgimiento del primer biodigestor, se han inventado y probado modelos de plantas de biogás con el objetivo de aumentar la eficiencia y reducir los costos (Kaiser *et al.* 2002). El tipo de material de construcción de los biodigestores es un factor importante. Poggio *et al.* (2009), reportan que en 2007 se instalaron 13 biodigestores tubulares familiares (11 de polietileno y 2 de PVC), en la micro cuenca del Japón Mayo (Perú) y a finales de 2008 evaluaron el estado de los biodigestores y se encontró que el 30% de los biodigestores (de polietileno) estaban en desuso, a consecuencia de ruptura en el plástico, por animales o envejecimiento. Pedraza *et al.* (2002), mencionan que el tipo de material no afecta el comportamiento de los parámetros evaluados, la diferencia está en el costo del biodigestor. Se han utilizado diversos tipos de sustratos en la digestión anaerobia como residuos y subproductos de actividades agrícolas, forestales, industriales, estiércol de vacas, borregos, caballos, aves de corral, excrementos humanos, procesadora de carne e inclusive el jacinto de agua (Krishna *et al.* 1991). Poco se ha escrito sobre el uso como sustrato del material ruminal gástrico bovino (rumen) en la producción de biogás a escala real. Sólo se reporta como inóculo. Del Real *et al.* (2007) y Fantozzi y Buratti (2009), lo han utilizado a nivel laboratorio como inóculo en la biodigestión de vinaza y cáscara de oliva respectivamente. El rumen tiene compuestos importantes para determinar la producción de biogás. El contenido ruminal es una mezcla de material no digerido que tiene la consistencia de una papilla, de color verde oscuro y olor característico muy intenso cuando está fresco, además posee gran cantidad de flora y fauna microbiana (Trillos, 2006). El manejo inadecuado del contenido gástrico ruminal, puede generar grandes problemas de contaminación por su alta carga orgánica, al disponerla en cuerpos de agua, la demanda química de oxígeno (DQO) suele elevarse.

Alrawi *et al.* (2011) mencionan que el fluido ruminal tiene una concentración de DQO de 54350 mg/l. Marcos *et al.* (2012), realizó la degradación anaerobia de efluentes líquidos de mataderos de ganado bovino, inoculando con rumen bovino, con una DQO inicial de 40500 mg/l y una DQO final de 10200 mg/l en 17 días, con una eficiencia de disminución del 75%. Alrawi *et al.* (2011) obtuvieron rangos de 90 a 92% de eficiencia de remoción de DQO. Los sólidos volátiles, es la fracción de la materia orgánica capaz de volatilizarse (transformarse en biogás). Valencia *et al.*, (2009), reportan valores de sólidos volátiles de 3973.1 mg/l. Autores como Owens y Goetsch (1988) estiman que los sólidos volátiles oscilan del 7 al 14% del peso fresco del material ruminal de ganado bovino. Las cenizas, son compuestos minerales residuales que no son volatilizados. Trillos (2006) reporta valores de 2.86 a 3.55% de cenizas. Estudios realizados por Uicab y Sandoval (2003), dan como resultado que el porcentaje de humedad es del 80% y un 27 % de ceniza; lo reportado por Araujo y Vergara (2007), con base a los estudios realizados por Church (1974) y Phillipson (1981), mencionan que la materia seca del contenido ruminal se ubica entre 10 y 15%. La temperatura es un factor que influye en la generación de biogás: cuanto más caliente el ambiente, mayor es la velocidad y el grado de fermentación de la materia orgánica (Asankulova 2008). Dentro de todo biodigestor existen tres fracciones por diferencia de densidad, la *parte superior*, es una costra formada por grandes partículas y en el tiempo puede llegar a ser sólida, evitando la fluidez del biogás; la *parte media* de la fermentación, donde el líquido se acumula y la *parte inferior*, donde se ubica la fracción de lodos precipitados; las bacterias son más activas en la zona media y por lo tanto las fracciones en el digestor deben ser periódicamente mezcladas (Asankulova, 2008). La mezcla se puede hacer por medios mecánicos, medios hidráulicos (de recirculación en la acción de la bomba), bajo la presión de un sistema neumático o por los distintos métodos de auto-mezclado. Algunos autores como Fantozzi y Buratti (2009), han utilizado el mezclando con motores a 1200 rpm, en biodigestores por lote a escala laboratorio, bajo condiciones mesofílicas con varios tipos de

sustratos y mezclas (gallinaza, estiércol de vaca, estiércol de cerdo y pollo), además del uso de inóculos (excretas de vaca, cerdo y contenido ruminal). Cuetos *et al.*, (2010), utilizaron residuos de vísceras, contenido estomacal e intestino de aves como inóculo para degradar la fracción orgánicas de residuos sólidos municipales, con agitaciones de entre 100 y 200 rpm, dentro del biodigestor a escala laboratorio. Pandey *et al* (2011), concluye que existe una mejor degradación de material orgánico al utilizar agitación, para el caso utilizaron 120 rpm. Liao *et al.* (1984), señalan que cribar el estiércol de ganado lechero favorece la producción de metano, reportando volúmenes de metano de 64.3% y sin cribar, alcanzaron un de 59.4%. Fantozzi y Buratti (2009), reportan una concentración de ácido sulfhídrico de 20 ppm a los 29 días. Los beneficios directos del uso de la biodigestión pueden ser estimados con base en el uso del biogás como energía renovable y en la aplicación del efluente como sustituto de nutrientes, que actualmente son aportados por fertilizantes sintéticos (Tchobanoglous *et al.* 1998). La NOM-004-SEMARNAT-2004 menciona que el aprovechamiento de los biosólidos puede ser como mejoradores o acondicionadores de suelo por su contenido de materia orgánica y nutrientes, por ello para el uso del efluente líquido residual del proceso anaerobio se debe hacer una caracterización nutricional, principalmente de Nitrogeno (N), Forforo (P) y Potasio (K). Lansing *et al.*, (2010), reportaron que el efluente líquido residual de la degradación anaerobia de excretas de cerdo, contiene 605 mg/g de Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), 447 mg/g de ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), fósforo ( $\text{P}^+$ ) 90.6 mg/g y fosfato ( $\text{PO}_4^-$ ) 51.5 mg/l. Yetilmezsoy y Sapci-Zengin (2009) caracterizaron el efluente proveniente de la digestión anaerobia de excretas de aves en un reactor anaerobio UASB, los resultados de ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) fue de 1318 mg/l y de fósforo ( $\text{P}^+$ ) 370 mg/l, posteriormente se aplicó en el cultivo de pastos. En Tabasco, México, se ha generado muy poca información sobre el aprovechamiento de materiales orgánicos utilizando biodigestores para la obtención de biogás. Lo anterior resulta paradójico ya que Tabasco es un estado del sureste mexicano donde se genera cantidades elevadas de materia orgánica y las características

climatológicas son muy favorables para la degradación de la misma. El objetivo del presente estudio fue llevar a cabo la digestión anaerobia del contenido gástrico ruminal, bajo condiciones mesófilas en un biodigestor por lotes.

## **METODOLOGÍA**

**Selección del sitio:** Es el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE) de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Su ubicación satelital es 17°59'27.21'' N y 92°58'19.63'' O.

**Celda soporte:** La celda que soporta al biodigestor se construyó sobre el nivel del suelo debido a que el sitio disponible tiene el nivel freático a 0.5 m de profundidad. Está conformada de cuatro terraplenes de tierra compactados manualmente en forma trapezoidal. Dos de estos terraplenes conforman el ancho de la celda y miden 2 m base mayor x 1 m altura x 0.40 m base menor x 7.7 m de longitud, uno ubicado al norte y el otro al sur. Los otros dos terraplenes con las mismas medidas, pero de 18 m de longitud, al este y oeste. El volumen interior de la celda es de 67 m<sup>3</sup>.

**Registro de entrada:** Junto a la celda de soporte se construyó un registro de concreto de 1 m<sup>3</sup>, este se rellenó hasta un 80%, dejando 20% libre para la alimentación y sello hidráulico. La entrada del influente, se realiza a través de un tubo de PVC de 15.24 cm de diámetro, lo que permite un llenado del 70% de la celda.

**Biodigestor:** Sobre la celda soporte, se colocó el biodigestor. Consiste en un recubrimiento impermeable de geomembrana de PVC de 1.25 mm. Las dimensiones del biodigestor obedecen al tamaño de la celda.

**Tubos de recirculación y extracción de sólidos:** Se añadieron cuatro tubos de PVC de 15.24 cm de diámetro, colocados tangencialmente a la celda, permitiendo la recirculación y extracción de sólidos.

**Reservorio cupular:** El perímetro superior de la celda se selló soldando de manera térmica un

lienzo de geomembrana (PVC 1.25mm), con un traslape de 20 cm que funciona como reservorio del biogás. El volumen del reservorio es de 57 m<sup>3</sup>.

**Puntos de muestreo de gas:** En la cúpula se instalaron cuatro tubos de PVC de 5.08 cm con válvulas de paso. Tres representan puntos de muestreo de biogás. El cuarto permite la extracción del biogás a 4 reservorios de biogás desmontables, que está conectado mediante un filtro de limaduras de fierro.

**Filtros:** En la salida de la cúpula se instaló un sistema de filtros de biogás, de 1.5 m de longitud total, con cartuchos de PVC de 10.16 cm de diámetro. El sistema fue llenado con limadura y viruta de fierro.

**Reservorios de biogás desmontables:** Se construyeron 4 reservorios de biogás desmontables, elaborados con geomembrana de PVC, soldada con una termosoldadora manual, procurando siempre la hermeticidad de las soldaduras; las entradas son de 5.08 cm de diámetro con una válvula de paso y la salida del gas es reducida a 1.25 cm, ambos conductos están instalados con tubería de PVC. Los reservorios tienen forma semicilíndrica con una altura de 2.50 m y 0.6 m de diámetro, con un volumen calculado de 0.7 m<sup>3</sup>.

**Caracterización del contenido gástrico ruminal:** El biodigestor se alimentó con 7.3 toneladas de contenido gástrico ruminal bovino donado por Frigorífico y Empacadora de Tabasco, S.A. de C.V. Al cual se le determinó el % de Humedad (NMX-AA-016-1984), % de Sólidos Volátiles (NMX-AA-016-1984) y % de Cenizas (NMX-AA-018-1984).

**Alimentación del biodigestor:** Para alimentar el biodigestor se pesó la biomasa sin filtrar la fibra y se mezcló con agua en proporción 52 a 1 (kg de agua: kg de rúmen). Esta cantidad de agua permite un mejor funcionamiento de la bomba de recirculación, ya que la fibra no obstruye la bomba.

**Tiempo de retención hidráulica (TRH):** El tiempo que se dio para la degradación de la

biomasa fue de 60 días, ya que después de este periodo existe un decaimiento en la producción de biogás.

**Recirculación del biodigestor:** Cada tercer día, se realizaba una agitación del sustrato con ayuda de una bomba de agua autocebante de 15 HP (3450 rpm; Q=990 l/min) a través de los tubos de recirculación y extracción de sólidos, por periodos de tiempo de 30 minutos. La secuencia de recirculación era, 15 minutos de tubo a tubo colocados a los extremos y 15 minutos de tubo a tubo colocados en medio.

**Monitoreo del sustrato dentro del biodigestor:** Cada tercer día, se tomaban cuatro muestras del sustrato que está dentro del biodigestor, una en cada tubo de recirculación y extracción de sólidos. A cada muestra, se le midieron parámetros fisicoquímicos con un equipo HANNA® 9828.

**Monitoreo de biogás:** Semanalmente se tomaron tres muestras de biogás, en bolsas de Tedlar de 10 litros. Estas muestras se enviaron al laboratorio del complejo Procesador de Gas (CPG) Cactus I de PEMEX, donde se determinó la composición del biogás utilizando un cromatógrafo Varian® modelo GC-450.

**Monitoreo de DQO:** Se tomó una muestra de la mezcla, al inicio, 30 y 60 días. De cada muestra se tomaron 2 ml y colocaron en viales con dicromato de potasio, agitando hasta obtener una mezcla homogénea. Se colocan en un reactor marca HANNA® HI839800, por 2 horas, posteriormente se enfrían a temperatura ambiente y continuación se hace la medición en un equipo multiparamétrico HANNA® HI91443.

**Caracterización del efluente líquido:** Después de agitar durante 60 días, se espera un tiempo de reposo de 30 días y se toman muestras al efluente (biodigestato), con un fotómetro de análisis de nutrientes marca HANNA® HI83225-01.

## RESULTADOS

En la **figura 1**, se muestra el biodigestor con la cúpula llena, por el frente, los tubos de recirculación y extracción de sólidos.

En la **Tabla 1**, se muestran las características generales del biodigestor construido en la DACBiol.

El contenido gástrico ruminal tiene una humedad de 87.85%, y 12.15% de base seca (10.39% son sólidos volátiles y 1.76% cenizas).

En la **Tabla 2** se muestran los parámetros fisicoquímicos del sustrato dentro del biodigestor y en la **Tabla 3** la composición del biogás durante 30, 60 y 90 días. Es importante señalar

que la generación de biogás se aprecia a los 5 días, al observar pequeñas elevaciones en la cúpula del biodigestor (**figura 2**).

En la **Tabla 4**, se muestran los valores de DQO, con un % de remoción del 91.4 en 60 días de operación. En la **Tabla 5** se muestran los valores obtenidos de la caracterización nutrimental del biodigestato extraído del biodigestor, a los 90 días de TRH.



**Figura 1.** Biodigestor lleno

**Tabla 1.** Características del biodigestor.

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Volumen total de la celda	67.6	m <sup>3</sup>
Volumen de llenado al 70%	47.3	m <sup>3</sup>
Volumen de celda lleno con biogás	20.30	m <sup>3</sup>
Volumen de la cúpula	57.0	m <sup>3</sup>
Peso del rumen húmedo	57	kg
Humedad del rumen (Falla-Cabrera, 1995)	85	%
Peso del rumen seco	1095	kg
Relación másica (agua/sustrato)	52:1	kg.
Producción de Gas Teórica (Tchobanoglous <i>et al.</i> 1998)	1021.6 (1095*0.933)	m <sup>3</sup>
Producción de Gas Real	945.9	m <sup>3</sup>
Tipo de Operación	Por lotes	-----
Tiempo de retención de la biomasa dentro del biodigestor	90	días
Temperatura promedio anual de Tabasco	27	° C
Vida útil del proyecto	15	años
Costo de construcción e instalación	150,000.00	Pesos (\$)

**Tabla 2.** Parámetros fisicoquímicos del sustrato dentro del biodigestor

PARÁMETROS	PROMEDIOS				UNIDAD
	30	60	90	Medias	días
Temperatura	28.48	30.72	32.88	30.69±2.2	° C
pH	6.47	6.99	7.14	6.87±0.4	-----
Oxígeno disuelto	0.09	0.22	0.31	0.21±0.1	ppm

**Tabla 3.** Composición del biogás.

COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS	CONCENTRACIÓN				UNIDAD
	30	60	90	Medias	días
CH <sub>4</sub>	59.34	66.18	62.89	62.80±3.42	% en volumen
CO <sub>2</sub>	30.95	30.06	31.25	30.75±0.62	% en volumen
N <sub>2</sub>	7.35	3.27	5.27	5.30±2	% en volumen
O <sub>2</sub>	2.30	0.47	0.89	1.22±0.96	% en volumen
H <sub>2</sub> S	15.00	16.58	16.30	15.96±0.19	ppm

**Tabla 4.** Comportamiento de la DQO durante el proceso anaerobio.

MONITOREO DE LA DQO DEL SUSTRATO DENTRO DEL BIODIGESTOR			
INICIO	30 DÍAS	60 DÍAS	UNIDAD
60000	10090	5150	mg/l

**Tabla 5.** Composición nutrimental del biodigestato, posterior a los 90 días de proceso.

NUTRIENTE	COMPUESTO O ELEMENTO			UNIDAD
Fosforo	$P^+$	$PO_4^{-3}$	$P_2O_5$	mg/l
	1125.93±393	3508.55±1208	2602.28±903	
Amoniaco	$NH_3^-$	$NH_3$	$NH_4^+$	mg/l
	3731.63±1258	4530.20±1503	4804.27±1599	
Nitrato	$NO_3^-N$	$NO_3^-$		mg/l
	1450.14±790	6013.11±3147		
Potasio	$k^+$	$K_2O$		mg/l
	2186.81±628	2651.34±762		



**Figura 2.** Biodigestor a los 5 días.

## **DISCUSIÓN**

El porcentaje de materia seca de 12.15%, es similar a los porcentajes reportados por Church (1974) y Phillipson (1981). Los valores de sólidos volátiles encontrados, coincide con Owens y Goetsch (1988), que reportaron valores de 7 a 14% del peso fresco del material ruminal. Los valores determinados de cenizas de 1.74% son menores al rango de 2.86 a 3.55 % reportado por Trillos (2006). La generación de biogás de 5 días es similar a lo reportado por Liao *et al.* (1984), reportan generación de biogás de ganado lechero en sus reactores a partir de los 6 días. Diferente a Fantozzi y Buratti (2009), que reporta generación de biogás para bovino a partir de 15 días. La agitación hidráulica es funcional a pesar que es diferente a la agitación de Fantozzi y Buratti (2009) y Cuetos *et al.*, (2010), que utilizan agitación con rotor direccionado. La composición del metano en % volumen obtenido del rumen sin cribar fue en promedio de 62.80, muy por encima a la reportada por Liao *et al.* (1984) de 59.40. La composición del ácido sulfhídrico en este estudio fue por debajo a lo reportado por Fantozzi y Buratti (2009). Con una eficiencia del 91.4% de disminución en la DQO, se apega a lo descrito por Alrawi *et al.* (2011), con valores de 90 a 92%. La concentración de nutrientes determinados en el biodigestato de rumen, son superiores a las encontradas por Lansing *et al.*, (2010) y Yetilmezsoy y Sapci-Zengin (2009) usando excretas de cerdos y aves, respectivamente. Pedraza *et al.* (2002), reporta un costo de US\$ 42.44 por m<sup>3</sup> de PVC en Colombia. El costo por m<sup>3</sup> de PVC para este proyecto fue de US\$ 20.13 (a una tasa de cambio de \$ 13.722).

## **CONCLUSIÓN**

La digestión anaerobia del contenido gástrico

ruminal, bajo condiciones mesófilas en un biodigestor por lotes, tipo cúpula, construido con geomembrana de polivinilo de cloruro (PVC) y mezclado con un sistema de agitación hidráulica en Tabasco es factible.

La geomembrana de PVC en el uso de biodigestores es funcional, tanto por su maleabilidad, fusión al soldar y resistencia a las condiciones climáticas del trópico húmedo. El contenido gástrico ruminal vacuno posee una concentración de SV apta (10.39% del peso húmedo) para su uso en la producción de biogás. La agitación del biodigestor con bombas de agua, dio como resultado la ausencia de costras en la parte superior del sustrato, que podría impedir la fluidez del biogás a la cúpula. Al momento de agitar con bombas hidráulicas, se favorece el rompimiento de capas que se forman en la parte superficial del sistema y se promueve la distribución de los sedimentables, favoreciendo la alimentación microbiana y la generación de biogás en poco tiempo. La proporción del metano y la concentración del ácido sulfhídrico en el biogás son aceptables. Los subproductos del proceso de digestión anaerobia, pueden ser susceptibles de aprovechamiento en la fertilización foliar y mejoramiento de suelo por las altas concentraciones nutrimentales. Aunque el costo es alto en comparación con plásticos flexibles de polietileno, la resistencia es mayor. La promoción de biodigestores anaerobios en regiones tropicales como el sureste mexicano coadyuva al aprovechamiento de la gran cantidad de materia orgánica generada y manejada de manera inadecuada, produciendo energías renovables y subproducto de gran valor económico.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores desean agradecer al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP), a la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, al Complejo Procesador de Gas Cactus de Pemex Gas y Petroquímica Básica y a la Unión Ganadera Regional de Tabasco por los apoyos económicos y facilidades otorgadas para la ejecución de este proyecto de investigación.

## REFERENCIAS

- Araujo O. y Vergara J. (2007). Propiedades físicas y químicas del rumen. XX Reunión ALPA, XXX Reunión APPA-Cusco-Perú. Vol. 15, número 1.
- Asankulova A. (2008). Analysis of Factors Influencing Biogas. Release Geliotekhnika. 3, 109–112.
- Church, D. C. 1974. Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Cuetos M.J., Gómez X., Otero M., Morán A. (2010). Anaerobic digestion and co-digestion of slaughterhouse waste (SHW): Influence of heat and pressure pre-treatment in biogas yield. Waste Management 30, 1780–1789.
- Del Real Olvera J., Prieto G. F., Santos L. (2007). Factibilidad de un sistema de digestión anaerobia en el tratamiento de aguas de proceso de vinazas con microorganismos de rumiantes. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. 30, (2), 128-135.
- Fantozzi F., Buratti C. (2009). Biogas production from different substrates in an experimental Continuously Stirred Tank Reactor anaerobic digester. Bioresource Technology 100 5783–5789.
- Yetilmezsoy K., Zehra Sapci-Zengin (2009). Recovery of ammonium nitrogen from the effluent of UASB treating poultry manure wastewater by MAP precipitation as a slow release fertilizer. Journal of Hazardous Materials 166. Pp. 260–269.
- Kaiser F., Bas F., Gronauer A. (2002). Producción de biogás a partir del guano animal: el caso de Alemania. Agronomía y Forestal UC, 16 (4), 4-8.
- Krishna N., Sumitra D., Viswanath P., Deepak S., Sarada R. (1991). Anaerobic Digestion of Canteen Waste for Biogas Production: Process Optimisation. Process Biochemistry. 26, 1-5.
- Liao P.H., Lo K.V. and Chieng S.T. (1984). Effect of liquid-solids separation on biogas production from dairy manure. Energy in Agriculture, 3, 61-69.
- Marcos A., Al-Kassir A., López F., Cuadros F., Brito P. (2012). Environmental treatment of slaughterhouse wastes in a continuously stirred anaerobic reactor: Effect of flow rate variation on biogas production. Fuel Processing Technology. (Artículo en proceso).
- Norma Mexicana AA-016-1984. Determinación de humedad. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Norma Mexicana AA-018-1984. Determinación de cenizas. Secretaria de Medio Ambiente y Protección Ambiental.
- Norma Mexicana AA-034-SCFI-2001. Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Secretaria de Medio Ambiente y Protección Ambiental.
- Owens, F. N. y A. L. Goetsch. 1988. Fermentación ruminal. En: El rumiante, fisiología digestiva y nutrición. C. D. Church (Ed.). Editorial Acribia, S. A.
- Pedraza G., Chará J., Conde N., Giraldo S. y Giraldo L. (2002). Evaluation of polyethylene and PVC tubular biodigesters in the treatment of swine wastewater. Livestock Research for Rural Development 14 (1).



Phillipson, A. T. 1981. Digestión en el rumiante. En: Fisiología de los animales domésticos. H. H. Dukes y M. J. Swenson (Eds.). Aguilar Editor S.A. Mexico.

Poggio D., Ferrer I., Batet Ll. y Velo E. (2009). Adaptación de biodigestores tubulares de plástico a climas fríos. *Livestock Research for Rural Development*. 21. <http://www.lrrd.org/lrrd21/9/pogg21152.htm>.

Pandey K., Pius M. Ndegwa, Michelle L. Soupir, J. Richard Alldredge, Marvin J. Pitts (2011). Efficacies of inocula on the startup of anaerobic reactors treating dairy manure under stirred and unstirred conditions. *Biomass and bioenergy* 35. Pp. 2705-2720.

Alrawi A., Anees Ahmad, Norli Ismail, Mohd Omar A. Kadir (2011). Anaerobic co-digestion of palm oil mill effluent with rumen fluid as a co-substrate. *Desalination* 269. Pp 50–57.

Lansing S., Jay F., Botero R., Tatiana Nogueira da Silva, Ederson Dias da Silva (2010). Wastewater transformations and fertilizer value when co-digesting differing ratios of swine manure and used cooking grease in low-cost digesters. *Biomass and bioenergy* 34. Pp. 1711 - 1720.

Tchobanoglous G., Theisen H., A. Vigil S. (1998). Gestión integral de residuos sólidos. Volumen II. 1ª Edición, Editorial Mc Graw Hill. España. 1105 pp.

Trillos; G. L.; Plata; O. L.; Mestre; A. T. y Araujo; G. A, (2006), Análisis fisicoquímicos de los contenidos ruminales frescos y ensilados de bovinos sacrificados en el Valle del César, Facultad De Ingenierías. Programa de Agroindustria. Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Cesar. Colombia. <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/frigorifico/articulos/analisis-fisicoquimicos-contenidos-ruminales-t954/378-p0.htm>. (Consulta:20 de septiembre 2012).

Uicab-B., L.A. y Sandoval C.2003. Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia – Universidad Autónoma de Yucatán. Núm. 2.

Valencia E, Valenzuela E, González S y Vargas C (2009). Digestión anaeróbica de rúmen bovino en laboratorio y determinación química pre y post tratamiento. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 23.

---

Este documento debe citarse como: Laines Canepa J. R., Sosa Olivier J. A. (2013). **Degradación anaerobia del contenido gástrico ruminal bovino para la obtención de biogás, en un biodigestor tipo cúpula**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 17-1, pp 57-65, ISSN 1665-529-X.