

**CODIGESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LAS CAFETERÍAS DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS****CO-DIGESTION OF ORGANIC SOLID WASTE GENERATED IN THE CAFETERIAS OF THE BIOLOGIC SCIENCES CAMPUS**Tapia-Gómez A. K.<sup>1\*</sup>, Laines-Canepa J. R.<sup>1</sup> y Sosa-Olivier J. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> División Académica de Ciencias Biológicas Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
\*Carretera Villahermosa-Cárdenas Km 0.5 S/N, Entronque a Bosque de Saloya, Villahermosa, Tab., Centro, Tabasco. Código Postal 86150. México. <sup>1</sup>Email: anahitapia1392@gmail.com

**RESUMEN**

La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos genera metano. El metano tiene un alto poder energético. Puede ser utilizado para la generación de energía calorífica y eléctrica. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la codigestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) generados en las cafeterías de la DACBiol, en combinación con dos cosustratos: lodos de una planta de aguas residuales (LODOS) y contenido gástrico ruminal vacuno (CGRV). Se utilizaron mezclas con una relación de 90:10 (sustrato: cosustrato) en reactores de un litro acoplados a una bolsa para biogás. La temperatura de reacción fue de 35°C y la agitación de 500rpm. Para la estabilización del pH se adicionó lixiviado del compostaje de la cáscara de semillas de la *Jatropha curcas* en los tres tratamientos. El pH de las mezclas al inicio del proyecto, se mantuvo ácido en un rango de 4.33 a 5.33, sin embargo, con la estabilización se logró valores de pH en un rango de 8.06 a 8.25. Los resultados mostraron que las mezclas alcanzaron una generación de metano arriba del 65% y una remoción de sólidos volátiles mayor al 70%. La codigestión anaerobia coadyuva a mejorar la calidad en el biogás generado.

**Palabras clave:** Biodigestor, Biogás, Digestión anaerobia, Residuos orgánicos.

## ABSTRACT

The organic fraction of the urban solid waste generates methane. The methane has a high energetic power. It can be used for the generation of heat and electrical energy. The objective of the present study was to evaluate the anaerobic co-digestion of the organic fraction of solid urban waste (FORSU) generated in the cafeterias of the DACBiol, (División Académica de Ciencias Biológicas) in combination with two co-substrates: sludge from a wastewater plant (SLUDGE) and beef ruminal gastric contents (CGRV). Mixtures with a ratio of 90:10 (substrate: cosustrate) were used in reactors of a litre coupled to a bag for biogas. The temperature of reaction was of 35 °C and the agitation of 500 rpm. For the stabilization of pH the leachate of the composting of the peel of seeds of the *Jatropha curcas* was added in three treatments. The pH of mixtures at the beginning of the project, remained acid in a range of 4.33 to 5.33, however, with the stabilization values of pH were achieved over a range of 8.06 to 8.25. The results showed that the mixtures reached a generation of methane above the 65% and a removal of solid volatile greater than 70%. The anaerobic co-digestion contributes to improve the quality in the biogas generated.

**Key words:** Biodigester, Biogas, Anaerobic digestion, Organic waste

## INTRODUCCIÓN

El actual modo de vida en la población, provoca un consumo alto de bienes, productos y servicios, que al terminar su ciclo de vida, se convierten en residuos, los cuales por Ley, deben ser manejados adecuadamente. En 2012 el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2012), publicó que la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) fue de 37.5 millones de t a<sup>-1</sup>, la fracción orgánica representa el 37.97%. Existe en los residuos sólidos urbanos, una fracción orgánica, la cual al disponerse inadecuadamente, provoca la presencia de fauna nociva, los cuales son vectores sanitarios, portadores de enfermedades de gran riesgo para la salud pública, como la peste bubónica, tifus murino, salmonelosis, cólera, leishmaniasis, amebiasis, disentería, toxoplasmosis, dengue y fiebre amarilla, entre otras (SEMARNAT, 2012). En adelante, a dicha fracción se le denominará FORSU (Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos). Las instituciones de educación superior, no están exentas de estos problemas, ya que ahí se concentra un gran número de personas durante largos periodos de tiempo, lo que provoca que exista una generación alta de RSU. Hernández y Sáenz (2000), reportan una generación diaria de 1551 kg de RSU en la Pontificia Universidad Javeriana en Santafé de Bogotá, Colombia. Por su parte, Sánchez et al. (2005), reportan una generación de RSU en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, de 2400 kg d<sup>-1</sup>, donde el material orgánico representa el 50%, papel 15%, sanitarios 5%, plásticos 15%, metal 5%, varios 10%. Armijo de Vega et al. (2006), reportan que la fracción orgánica de los RSU generados en la Universidad

Autónoma de Baja California (UABC), Campus Mexicali, es de 54.1%. A su vez, Ruiz (2012) reporta que los residuos alimenticios ocupan un 29.32% de los RSU generados en la Universidad Iberoamericana. En la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) también se han realizado estudios de generación de RSU, en la División Académica de Educación y Artes (DAEA), Ávila (2009), reportó que se generaron 282.61 kg d<sup>-1</sup> de RSU y de los cuales obtuvo un 40.96% de residuos orgánicos. Por otro lado en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), Palma (2014), reportó que hubo una generación promedio de 172.97 kg d<sup>-1</sup> de RSU de los cuales el 21.5% son residuos orgánicos. Por ende se requiere implementar sistemas de tratamiento de estos residuos, fomentando la reducción en la fuente, tratamiento y /o disposición final adecuada. La digestión anaerobia es un proceso de fermentación idóneo para el tratamiento de residuos orgánicos, por su alto contenido de materia orgánica y de humedad, además de estabilizar el residuo y recuperar energía. (Buenrostro, 2000; Kim, 2011; Zhang, 2012). Sin embargo la digestión anaerobia de la FORSU puede tener deficiencias en la producción del biogás, es por eso que se recomienda el uso de cosustratos para una mejora del proceso. Corti y Lombardi (2011) obtuvieron rendimientos de 0.50 a 0.83 L biogás g<sup>-1</sup> SVT en la codigestión de FORSU con lodos de PTAR, a 37°C, con un rango de 63.47-64.75% de CH<sub>4</sub> y 32.37-33.35% de CO<sub>2</sub>. Álvarez y Lidén (2008), reportan el uso de contenido gástrico ruminal vacuno (CGRV), como co-sustrato al 17%, en la digestión de FORSU, en un proceso con 35°C y 30 rpm, obtenido rendimientos de 0.35 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> SVT, con un 67.4 % de remoción de SVT y un biogás con 51% de metano. El objetivo de esta investigación es evaluar la tasa de producción del biogás a partir de la FORSU mediante la codigestión con lodos de una planta de

tratamiento de aguas residuales (PTAR) y contenido gástrico ruminal vacuno (CGRV) y comparando cual mezcla es la más efectiva en la producción de biogás.

## METODOLOGÍA

### Obtención de sustratos

El sustrato se obtuvo de la FORSU generada en las cafeterías de la Dacbiol-UJAT, obteniendo muestras mediante el método de cuarteo en base a la NMX--AA-15-1985 (Figura 1-A). El contenido gástrico ruminal vacuno (CGRV) se obtuvo del proceso de matanza en el rastro municipal de Cunduacán, Tabasco (Figura 1-B) con una posición geográfica de 18°03'27.522''N y 93°13'03.12''O. Los lodos se obtuvieron en una planta de tratamiento de aguas residuales (método físico) (Figura 1-C), localizada en la comunidad de Cucuyulapa, Cunduacán, Tabasco. La *Jatropha curcas* se obtuvo de una plantación ubicada en la ranchería Tulipanes, del Municipio de Cunduacán, Tabasco, México.



**Figura 1.** A) Método de cuarteo para la FORSU. B) Obtención del CGRV en un rastros municipal. C) Obtención de los lodos en una PTAR.

### Caracterización Analítica

A cada muestra representativa, se determinó la humedad (NMX-AA-16-1984), sólidos volátiles (NMX-AA-034-2001), cenizas (NOM-AA-18-1984) y los ST se calcularon de la diferencia de 1-%cenizas.

### Caracterización Elemental

Las muestras fueron secadas a 103°C durante 24 h para eliminar la humedad (NMX-AA-016-1984). Las muestras secas, se pulverizaron, envasaron y fueron enviadas para su análisis elemental a la Unidad de Servicio y Apoyo a la Investigación (USAI) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La determinación elemental del contenido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre de los RSU, se llevó a cabo por triplicado. Se utilizó un Analizador Perkin Elmer® modelo PE 2400.

## Diseño experimental

Para realizar la evaluación de la codigestión anaerobia de la FORSU, se montaron tres tratamientos, cada uno con tres réplicas, obteniendo 9 unidades experimentales. Se emplearon botellas de reacción de 1 L, que contenían un imán para realizar la agitación de la mezcla, en la tapa estaba conectada una manguera de 9 mm y en el otro extremo, a una bolsa Tedlar® para biogás, de 1L de capacidad.

## Operación

Las unidades experimentales fueron llenadas a 800 ml con la mezcla de cada tratamiento, el régimen de operación fue tipo Batch, similar a lo reportado por Callaghan (1999). Durante el proceso se realizó la agitación en una parrilla magnética a 500 rpm, durante 30 min. La temperatura se mantuvo a 35°C en una estufa de laboratorio. El tiempo estimado de operación fue de 120 días.

## Monitoreo

Durante el proceso se monitorearon cada semana los siguiente parámetros: potencial redox (ORP, por sus siglas en inglés), pH, oxígeno disuelto (OD), sólidos disueltos totales (SDT); con un equipo multiparamétrico marca Hanna 9828®. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se monitoreó cada 15 días, en referencia a la norma EPA 410.4 El biogás se midió con un equipo Dragër® modelo X-am 7000. Para la estabilización del proceso, se utilizó el lixiviado del compostaje de la *Jatropha curcas*.

## RESULTADOS

### Caracterización Analítica

Los valores obtenidos de cada uno de los sustratos mediante técnicas analíticas y gravimétricas se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características iniciales de los sustratos.

SUSTRATO	HUMEDAD (%)	ST (%)	SV (%)	SF (%)	CENIZAS (%)
FORSU	40.77	59.23	82.02	8.28	9.70
CGRV	27.66	72.33 <sub>4</sub>	67.01	19.45	13.52
LODOS PTAR	69.95	30.24	10.96	1.82	87.22

### Caracterización Elemental

Se realizaron las estimaciones teóricas de la generación, composición y rendimiento de biogás. En la Tabla 2, se muestran los resultados de la generación teórica de biogás.

**Tabla 2.** Resultados teóricos de generación de biogás.

GAS	GAS GENERADO (Kg)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> BIOGÁS Kg <sup>-1</sup> SVT	COMPOSICIÓN (%)
CH <sub>4</sub>	21.7405	30.2793	0.6223	53.4872
CO <sub>2</sub>	45.5451	23.0259	0.4733	40.6743
NH <sub>3</sub>	2.1650	3.0928	0.0636	5.4633
H <sub>2</sub> S	0.2889	0.2124	0.0044	0.3752
BIOGÁS	69.7395	56.6104	1.1635	100.0000

### Unidades experimentales

En la Figura 2 se muestran las unidades experimentales.



**Figura 2.** Unidades experimentales dentro de la estufa para mantener temperatura constante.

**Monitoreo**

El potencial comportamiento del potencial redox para los tratamientos de FORSU y FORSU/CGRV fue similar durante todo el proceso de codigestión, en cambio el tratamiento de FORSU/LODOS mostró un comportamiento diferente manteniéndose en valores negativos durante todo el proceso. Durante todo el proceso de codigestión los valores en los tres tratamientos presentaron comportamientos similares, a partir de la semana 9 hubo un incremento en la concentración de los SDT. Los porcentajes de remoción de la DQO fueron  $90.08 \pm 4.34$ ,  $92.78 \pm 1.17$  y  $94.57 \pm 1.24$  para FORSU, FORSU/CGRV y FORSU/LODOS DE PTAR, respectivamente. En la Tabla 3, se muestran las características fisicoquímicas de los tratamientos al inicio y final del proceso.

**Tabla 3.** Características de los tratamientos al inicio y al final del proceso de codigestión.

INICIO	FINAL
--------	-------

PARÁMETROS	FORSU (100%)	FORSU (90%) CGRV (10%)	FORSU (90%) LODOS (10%)	FORSU (100%)	FORSU (90%) CGRV (10%)	FORSU (90%) LODOS (10%)
DQO(mg L <sup>-1</sup> )	33,800.00	28,400.00	32933.33	3,240.00	2,040.00	1,786.67
OD (ppm)	0.74	0.69	0.62	0.27	0.25	0.18
ORP(mV)	87.80	54.63	-127.43	-290.00	-339.80	-271.47
pH	4.43	4.67	5.33	8.25	8.06	8.14

En la Tabla 4, se muestran los volúmenes y características de la composición del biogás generado.

**Tabla 4.** Composición del biogás generado.

<b>COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS (%)</b>			
<b>GAS</b>	<b>FORSU</b>	<b>FORSU/CGRV</b>	<b>FORSU/LODOS</b>
CH4	72.61	67.99	73.91
CO2	23.80	29.66	21.44
O2	3.58	2.32	4.65
H2S	194.27	422.33	28.67
<b>BIOGAS</b>	<b>11 L</b>	<b>4 L</b>	<b>7 L</b>

De acuerdo a un análisis de varianza, no hay diferencias significativas, en el contenido de CH4 para los tres tratamientos, sin embargo, si existen diferencias significativas en el contenido de H2S, con un nivel de confianza del 95%, siendo el tratamiento de FORSU/LODOS el de menor contenido. A pesar de ello el biogás presentó un contenido de CH4 de 73.91% para el tratamiento de FORSU/LODOS mayor a lo reportado por Corti y Lombardi (2011) y el tratamiento de FORSU/CGRV obtuvo contenido de CH4 de 67.99% mayor por lo reportado por Alvarez y Lidén (2007).

## CONCLUSIONES

La codigestión anaerobia es una tecnología eficiente en el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, contenido gástrico ruminal vacuno y Lodos de

una planta de tratamiento de aguas residuales. El uso lixiviado del compostaje de la cáscara de semillas de la *Jatropha curcas* ayudó en la estabilización del pH en el proceso de digestión y codigestión anaerobia (para los tres tratamientos) potencializando la producción de biogás. El tratamiento FORSU/LODOS, obtuvo mejores resultados en calidad de biogás y baja concentración de H<sub>2</sub>S. La codigestión de FORSU/CGRV obtuvo el mayor porcentaje de remoción de SVT. Se reporta una baja producción de biogás debido a una mala captación del mismo y un retraso en el proceso de metanogénesis debido a bajos valores de pH, sin embargo se encontró que la calidad del biogás fue buena, sobretodo encontrando valores bajos de H<sub>2</sub>S.

## REFERENCIAS

- Álvarez, R., Lidén, G. 2008. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. *Renewable Energy* 33, 726-734.
- Armijo de Vega, C., Ojeda-Benítez, S., Ramírez-Barreto, E. y Quintanilla-Montoya, A. 2006. Potencial de reciclaje de los residuos de una institución de educación superior: el caso de la Universidad Autónoma de Baja California. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 10-3, pp.13-21, ISSN: 1665-529X.
- Ávila, I. 2009. Diagnóstico básico de residuos sólidos en la División Académica de Educación y Artes. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Ambiental) Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, Méx.
- Buenrostro, O., Cram, S., Bernache, G., Bocco, G. 2012. La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 16(1), 19-26.
- Corti A. y Lombardi L. 2007. Anaerobic co-digestion of source selected organic waste and sewage sludge. Memorias. Eleventh International Symposium Waste Management and Landfill Sardinia. Cagliari, Italy. 1-5 de octubre, 2007.
- Callaghan, F., Wase, D., Thayanithy, K., Forster, C. 1999. Co-digestion of waste organic solids: batch studies. *Bioresource Technology* 67, 117-112.
- Hernández, O. Carolina; Sáenz. M. Daniel, 2000. Propuesta de proyecto piloto para el manejo de residuos en la Pontificia Universidad Javeriana. Santa-fe de Bogotá.

Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2012). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. México. Recuperado de [http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcnica/diagnostico\\_basico\\_extenso\\_2012.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcnica/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf)

Kim, D., Oh, S. 2011. Continuous high-solid anaerobic co-digestion of organic solid wastes under mesophilic conditions. *Waste Management* 31, 1943-1948.

Norma Mexicana. NMX-AA-15-1985- Protección al ambiente - Contaminación del suelo – Residuos sólidos municipales - Muestreo - Método de cuarteo.

Norma Mexicana. NMX-AA-18-1984. Protección al ambiente –Contaminación del suelo – Residuos sólidos -Determinación de cenizas.

Norma Mexicana. NMX-AA-16-1984. Protección al ambiente -Contaminación del suelo – residuo sólidos municipales - Determinación de humedad.

Norma Mexicana. NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de Agua- Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba.

Palma, A. 2014. Logística inversa: una propuesta para el manejo de los residuos generados en la División Académica de Ciencias Biológicas. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Ambiental) Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, Méx.

Ruiz, M. 2012. Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 28, 93-97.

Sánchez, J., Carrillo J., Manzo Z., Leal L. 2005. Una propuesta de gestión integral de residuos sólidos en el campus de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México. Recuperado de; <http://www.monografias.com/trabajos33/gestion-residuos/gestion-residuos.shtml>. Fecha de consulta: 01/Junio/2015.

SEMARNAT. 2012. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México.

Zhang, Y., Banks, C. 2012. Co-digestion of the mechanically recovered organic fraction of municipal solid waste with slaughterhouse wastes. *Biochemical Engineering Journal*. 68 129-137.