

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO EN LA CO-DIGESTIÓN ANAEROBIA DE ESTIÉRCOL PORCINO, CON RESIDUOS AGROINDUSTRIALES, EN REACTORES POR LOTE

*Alejandro Aguilar Aguilar Fidel¹
Sergio Pérez Fabiel¹
Sandra Cabrera Hilerio¹
Gustavo YáñezOcampo¹

*BIOCHEMICAL METHANE POTENTIAL IN THE ANAEROBIC
CO-DIGESTION OF PIG MANURE, WITH AGROINDUSTRIAL
WASTES, IN BATCH REACTORS*

Recibido el 2 de septiembre de 2013; Aceptado el 28 de mayo de 2014

Abstract

The biochemical methane potential (BMP) in the anaerobic co-digestion of pig manure (EP) with Ataulfo mango (MA) wastes and crude glycerin (GC) in batch bioreactors was evaluated in mesophilic conditions. The bioreactors were operated with anaerobic sludge (1-1.5gSTV/g) as inoculum and an organic load of 3-3.5 gCOD/g (30%MA/70%EP and 5%GC/95%EP), a control with 100%EP and a blank with inoculum without substrate. The kinetics for methane production were followed during 40 days obtaining 246 mLCH₄/gDQO and 340 mLCH₄/gDQO for the 30%MA/70%EP and 5%GC/95%EP treatments, respectively. In contrast, a low methane yield production of 178 mLCH₄/gDQO was obtained with 100%EP. The addition of EP and MA wastes and GC favored the process stability, enabling the production of methane gas was carried out without the addition of alkaline substances. Therefore, the mixture of EP with agroindustrial wastes (MA and GC) in anaerobic co-digestion is an alternative to enhance methane production compared with EP anaerobic digestion alone.

Key Words: co-digestion, methane, wastes.

¹ Universidad Politécnica de Chiapas, México

*Autor correspondiente: Universidad Politécnica de Chiapas, Ingeniería en Tecnología Ambiental. Calle Eduardo J. Selvas S/N col. Magisterial, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. C.P. 29078. Email: falex_0211@hotmail.com

Resumen

Se evaluó el potencial bioquímico de metano (BMP) en la co-digestión anaerobia de estiércol porcino (EP) con, residuos de mango Ataulfo (MA) y glicerina cruda (GC) en biorreactores por lote en condiciones mesófilas. Los biorreactores fueron operados con lodo anaerobio (1-1.5gSTV/g) como inóculo y una carga orgánica (3-3.5 gDQO/g) de 30%MA/70%EP, 5%GC/95%EP, un control con 100%EP y un blanco de inóculo sin sustrato. Durante una cinética de 40 días se logró un BMP de 246 mLCH₄/gDQO y 340 mLCH₄/gDQO de los tratamientos 30%MA/70%EP y 5%GC/95%EP, respectivamente. En contraste, al bajo rendimiento de producción de metano del 100%EP, con 178 mLCH₄/gDQO. La adición del EP y los residuos de MA y GC favoreció la estabilidad del proceso, permitiendo que la producción de gas metano se llevara a cabo sin la adición de sustancias alcalinas. Por tanto, la mezcla de EP con residuos agroindustriales (MA y GC) en co-digestión anaerobia es una alternativa para aumentar la producción de gas metano comparado con la digestión anaerobia del EP.

Palabras clave: co-digestión, metano, residuos.

Introducción

El estado de Chiapas a nivel nacional es uno de los principales productores de mango Ataulfo (MA), según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en el año 2010 se cultivaron aproximadamente 147 mil toneladas, sin embargo, durante el proceso de selección para su comercialización se generan residuos. En ese mismo año, Chiapas mantuvo una población porcina de 771 mil cabezas, los cuales generaron aproximadamente 4 mil toneladas de estiércol (SIAP, 2012; FAO, 2012).

Por otra parte, el desarrollo del programa “Biodiesel Chiapas” cuenta con una planta con capacidad instalada para generar 10,950 ton/año de biodiesel mediante el proceso de transesterificación alcalina de aceite vegetal usado y aceite de palma, según datos reportados, en el proceso de producción se genera 90% de biodiesel y 10% de GC (IRBIO, 2012; Siles *et al.*, 2009; Astals *et al.*, 2011; Kolesárová *et al.*, 2011). Por tanto, en Chiapas en el proceso de producción de biodiesel se asume que se generan casi 1, 220 tonGC/año, misma a la que se le puede dar un aprovechamiento como materia primar para la producción de biogás (gas metano). Este biogás es idóneo para generación de energía, por su composición, principalmente 48-65% de gas metano, 36-41% de dióxido de carbono, entre otros componentes (Khalid *et al.*, 2011)

Los residuos agroindustriales antes citados al no tener una utilidad en el Estado de Chiapas representan material para generar gas metano mediante la digestión anaerobia. La digestión anaerobia es el método de tratamiento de residuos orgánicos comúnmente usado debido a su alto rendimiento en la reducción de volumen, estabilización y generación de gas metano que hace que el proceso sea rentable (Demirbas *et al.*, 2011). Por otra parte, se ha estudiado la posibilidad de utilizar estiércol porcino en la digestión anaerobia, pero el contenido de fibras limita la biodegradación, aumento de tiempo de retención y disminución de producción de

biogás (Appels *et al.*, 2011; Astals *et al.*, 2012). Así mismo, el exceso de nitrógeno, en forma de amonio, puede inhibir la actividad de las bacterias metanogénicas, además, se ha estudiado la digestión anaerobia de residuos de frutas y glicerina cruda obtenida de la producción de biodiesel como sustratos, sin embargo la fácil biodegradabilidad y bajo contenido de nutrientes da como resultado rápida acidificación, disminución de pH y baja producción de biogás (Bouallagui *et al.*, 2009; Siles *et al.*, 2009; García-Peña *et al.*, 2011).

La mezcla de EP con co-sustratos fácilmente biodegradables es una alternativa para aumentar la producción de gas metano. La mezcla de residuos orgánicos se le conoce como co-digestión anaerobia. La co-digestión anaerobia es una tecnología que se está aplicando cada vez más para el tratamiento simultáneo de residuos agroindustriales, residuos rurales y residuos industriales (Bouallagui *et al.*, 2009; Khalid *et al.*, 2011).

Durante el proceso de co-digestión se determina la producción de metano por gramo de residuo tratado de manera experimental, mediante la prueba de Potencial Bioquímico de Metano o BMP por sus siglas en inglés, en reactores por lote a escala laboratorio para que el residuo se biodegrade en condiciones anaerobias controladas (Gunaseelan *et al.*, 2004; Labatut *et al.*, 2011).

El presente trabajo pretende evaluar el BMP de la co-digestión anaerobia de EP con residuos de MA y GC, cuantificando el volumen máximo de metano que produce la mezcla de residuos, en régimen mesófilo.

Metodología

Obtención y preparación de los residuos

Los residuos de MA fueron colectados del mercado "5 de mayo", el EP de un corral de traspatio, la GC de la fábrica "Biodiesel Chiapas" y el inóculo de una planta semi-piloto para producción de gas metano a partir de residuos de plátano macho de la Universidad Politécnica de Chiapas; todos ellos ubicados en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Se realizó, con una licuadora industrial, la trituración de MA hasta obtener una pasta homogénea y se almacenó a 4°C; el EP y la GC no recibieron tratamiento previo. Antes del inicio del montaje de biorreactores, el inóculo de la planta semi-piloto se dejó de alimentar y se desgasificó durante 10 días.

Caracterización fisicoquímica

Todos los residuos utilizados en este estudio fueron caracterizados mediante análisis fisicoquímicos bajo procedimientos de normas mexicanas (determinación pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV). Se cuantificó el Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) del EP y MA, con base a

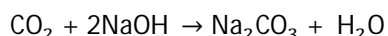
norma mexicana NMX-F-066-S-1978. Cabe resaltar que todos los análisis fueron realizados por triplicado.

Descripción y preparación de biorreactores

Se montaron biorreactores por lote de vidrio de 250 mL de capacidad (tipo Duran Shott) con tapa de polipropileno y con salida de manguera para permitir la medición de presión y cuantificación volumétrica de metano. Se manejó un volumen útil o volumen de trabajo de aproximadamente 70% para cada biorreactor y 30% de espacio gaseoso. Se utilizó la técnica de ensayos de biodegradabilidad anaerobia para evaluar el BMP descrita por Owen *et al.* (1979). Se realizaron por triplicado los tratamientos, el primero definido como 30%MA/70%EP, el segundo 5%GC/95%EP y el tercero considerado como control con 100%EP y un testigo con inóculo. Cada biorreactor cumplió la relación de biomasa: residuo (1-1.5 gSTV/g: 3-3.5 gDQO/g). Se adicionó agua con micro y macronutrientes hasta alcanzar 175 mL (70% volumen útil), el pH inicial fue de 7 y como indicador de presencia de oxígeno se añadió resazurina, finalmente los biorreactores fueron sellados e incubados a 30°C (temperatura mesofílica) en agitación a 120 rpm, por 40 días. Cabe señalar que, el blanco con inóculo no tuvo producción de biogás, por tanto, los tratamientos no fueron alterados con biogás del inóculo.

Monitoreo de biorreactores

Se monitoreó diariamente la presión manométrica (milibar) del biogás de cada uno de los biorreactores con un manómetro digital (marca Dwyer475). Paralelamente se monitoreó el volumen de producción diario de metano con un rotámetro marca "Ritter™" reportando el volumen de metano en mililitros, para ello previamente el CO₂ del biogás es fijado por una solución de NaOH 3N. El biogás disuelto en la solución de hidróxido de sodio reacciona químicamente con el dióxido de carbono formando como producto carbonato de sodio y agua, como se muestra en la reacción 1:



Reacción 1

Cálculo de BMP

El valor de BMP fue calculado en función al volumen de metano producido por gramo de DQO de los tratamientos, como se muestra en la ecuación 1. El volumen de metano fue convertido a valores bajo condiciones normales de presión y temperatura (0°C, 1 atm y 22.4 L/gasmol) de acuerdo con la ley de los gases ideales. Los valores de BMP fueron graficados en función a los 40 días de cinética.

$$BMP = \sum_{n=1} \frac{X_{n+1}}{S}$$

Ecuación 1

Donde:

BMP= Potencial bioquímico de metano, mLCH₄/gDQO

X = Producción diaria de metano, mL

n= Unidad de tiempo, día

S= Cantidad de sustrato inicial, gDQO

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de los experimentos se analizaron con el software Origin Pro 8™. Para determinar la diferencia significativa entre los tratamientos y el control se realizó un análisis estadístico mediante las pruebas de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

Resultados

Caracterización de los residuos

De las características fisicoquímicas (Tabla 1) de los residuos agroindustriales MA y EP, se estableció la relación STV/ST, donde el residuo de MA contiene 93% de materia orgánica a diferencia del 79% obtenido EP. Así mismo Labatut *et al.* (2011) encontró que por su relación STV/ST, el estiércol vacuno (EV) contiene aproximadamente 82% de materia orgánica.

Por otra parte, se estableció la relación DBO₅/DQO, dicha relación representa la materia orgánica degradable en un proceso biológico. Según Ekama *et al.* (2007), menciona que el porcentaje de biodegradabilidad (DBO₅/DQO) es indistinto si se obtiene por un proceso aerobio o anaerobio.

En la tabla 1 se observa que el 76% del MA podrá ser biodegradado y convertido a gas metano, en contraste con el 60% del EP. Comparando la fracción de materia orgánica biodegradable entre el EP es de 60% y EV 36% reportado por Labatut *et al.* (2011); con base en esto el EP representa un sustrato idóneo en la co-digestión anaerobia de este trabajo.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de residuos agroindustriales

	Unidad	MA	GC	EP	Inóculo
DQO	g/L	53.28	1974.40	139.62	6.11
DBO ₅	g/L	40.71	*1934.91	84.41	1.72
DBO ₅ /DQO	-----	0.76	**0.98	0.60	0.28
ST	g/L	139.83	φND	215.19	11.46
STV	g/L	130.89	φND	164.36	7.16
STV/ST	-----	0.93	φND	0.76	0.62
pH	-----	4.21	10.53	8.05	6.82

φND= No determinado

*Es ponderado por el cociente de biodegradabilidad por vía aerobia

**El porcentaje de biodegradabilidad fue obtenido por respirometría anaerobia

Debido a que el nitrógeno es nutriente esencial para el desarrollo de microorganismos (Khalid *et al.*, 2011). El EP es considerado una fuente de nitrógeno ya que contiene 5% NTK, mientras que los residuos de MA aportan 0.74% de NTK. Según Bouallagui *et al.* (2005), los residuos de fruta tienen un alto contenido de humedad y carbohidratos fácilmente biodegradables, debido a que la fracción biodegradable está constituida por 75% de azúcares, que facilita el tratamiento biológico. Por otro parte, no se determinó la composición bromatológica de la GC debido sus características físicas. Según Robra *et al.* (2010) la GC es deficiente de nitrógeno como sustrato, pero puede ser eficiente como fuente de carbono para el consorcio bacteriano.

Cinéticas BMP

Las gráficas de los tratamientos 30%MA/70%EP, 5%GC/95%EP y 100%EP se presentan en la figura 1 y 2 respectivamente. La producción de metano se llevó a cabo con un inóculo anaerobio desgasificado. Debido a ello la fase exponencial alcanzó su máximo punto alrededor del día 25 para los tratamientos, seguida de una fase estacionaria que tuvo una duración de 15 días. Cabe mencionar, que el proceso de co-digestión anaerobia de 40 días de cinética fue estable, con pH neutro, sin la adición de una solución amortiguadora de pH.

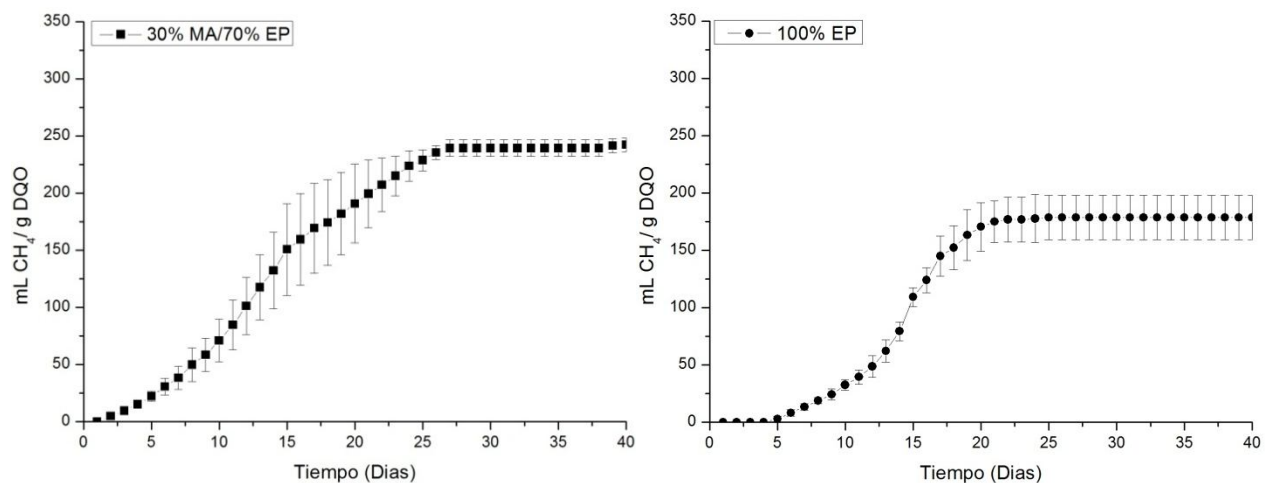


Figura 1. Cinética BMP de la co-digestión: 30%MA/70%EP (■) y 100%EP (●). *Las barras horizontales representan la desviación estándar durante el experimento.

De los resultados obtenidos de las cinéticas de BMP (figura 1) estadísticamente hay diferencia en el BMP con 178 mLCH₄/gDQO del control (100%EP) con los tratamientos 30%MA/70%EP y 5%GC/95%EP BMP de 242 mLCH₄/gDQO y 340 mLCH₄/gDQO, respectivamente. Estos resultados demuestran que los residuos de mango Ataulfo y glicerina cruda como co-sustratos en co-digestión anaerobia mejoran el rendimiento de BMP; probablemente esto se deba al alto contenido de material fácilmente biodegradable aportados por el MA y GC.

Los valor de producción de BMP bajos del control 100%EP de esta investigación posiblemente se deba al contenido de fibras con un valor de 22.7% (base seca) que impidieron el aumento de BMP. Ward *et al.* (2011) sugiere un pre-tratamiento térmico al sustrato con baja biodegradabilidad, utilizando el biogás colectado, esto es eficaz para el aumento de BMP.

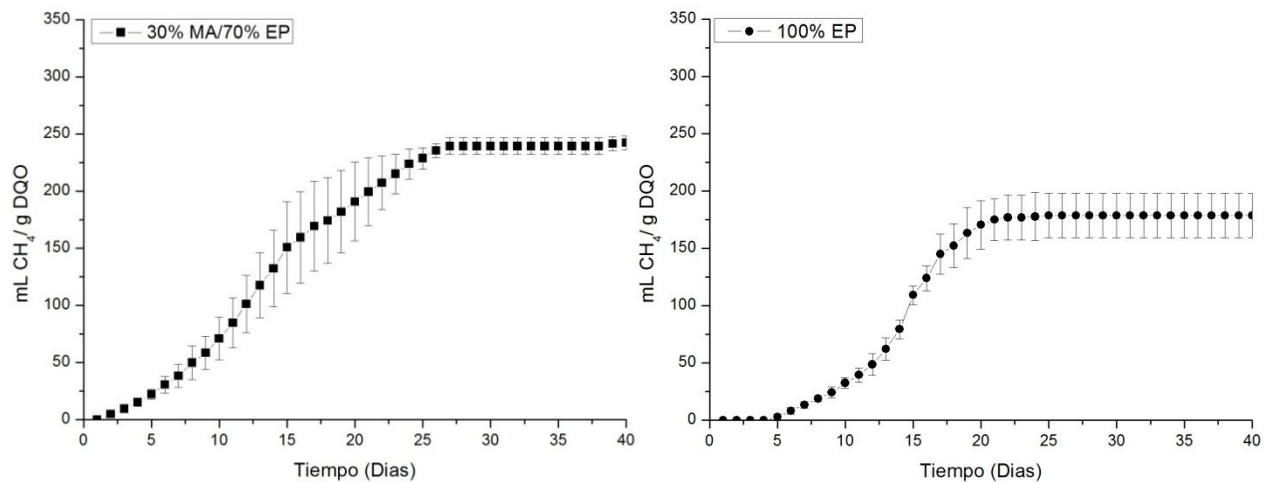


Figura 1. Cinética BMP de la co-digestión: 30%MA/70%EP (■) y 100%EP (●).

Nota: Las barras horizontales representan la desviación estándar durante el experimento.

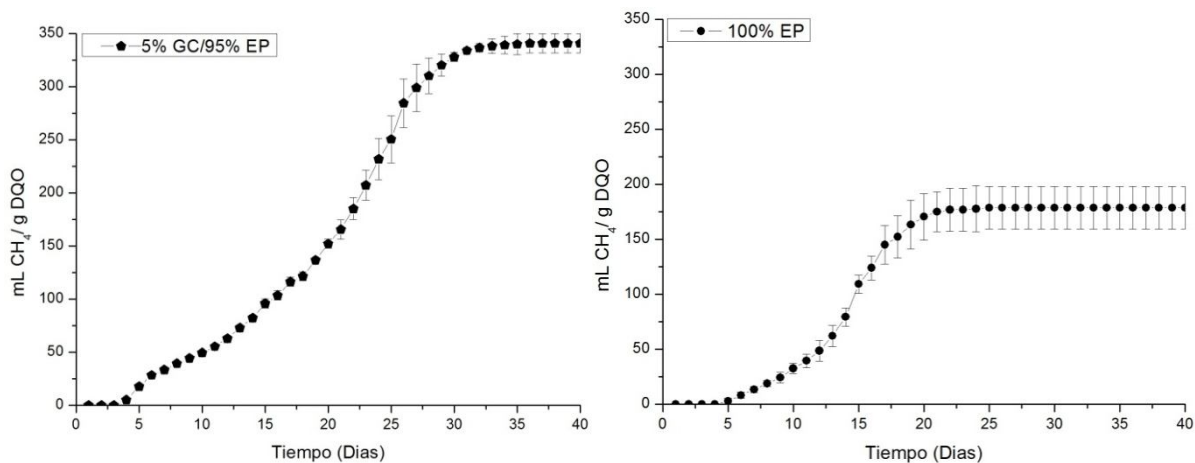


Figura 2. Cinética BMP de la co-digestión: 5%GC/95%EP (◆) y 100%EP (●).

Nota: Las barras horizontales representan la desviación estándar durante el experimento.

Basados en la pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$) se observa en la figura 2, que el tratamiento 5%GC/95%EP tuvo un BMP de 340 mLCH₄/gDQO, significativamente mayor al BMP de 178 mLCH₄/gDQO de la digestión del EP. El rendimiento de BMP obtenido de esta investigación fue mayor a lo reportado por Astals *et al.* (2011) que investigó la co-digestión de 20%GC/80%EP, el BMP fue de 214 mLCH₄/gDQO. Probablemente el tratamiento 5%GC/95%EP tenga una mejor relación de nutrientes adecuado para el consorcio bacteriano, mejor disponibilidad de la materia orgánica, el cual facilitó la estimulación de los microorganismos para aumentar la degradación.

Debido a la baja producción de metano del control (100% EP), Ardic y Taner (2005) reportaron un incremento en la biodegradabilidad y producción de metano, realizando pre-tratamiento térmico a los purines de pollo con NaOH a 100°C durante dos horas.

Además se obtuvo el porcentaje de gas metano del biogás del control (100%EP), 30%MA/70%EP y 5%GC/95%EP con 51%, 53% y 59%, respectivamente, el cual se encuentra en el intervalo 48-65% gas metano mencionado por Khalid *et al.* (2011).

Conclusión

La adición de residuos de mango Ataulfo y glicerina cruda como co-sustratos en la co-digestión con estiércol porcino, mejoran el rendimiento en producción de gas metano, obteniendo valores de 242±6 mLCH₄/gDQO y 340±8 mLCH₄/gDQO, respectivamente, a diferencia de 178±19 mLCH₄/g DQO obtenido de la digestión anaerobia del estiércol porcino.

Este estudio demuestra que la co-digestión anaerobia del EP con mezcla de residuos agroindustriales es una alternativa útil de tratamiento biológico. Por tanto, a partir de los resultados obtenidos surgen nuevas líneas de investigación que permitan complementar la investigación.

La generación de metano por la vía biológica en ausencia de oxígeno se considera una alternativa de las energías renovables, por la generación de energía limpia y mitigación de impactos ambientales generados por los residuos orgánicos. Siendo importante la revaloración de todos los residuos orgánicos para un desarrollo sostenible de México y el Estado de Chiapas.

Referencias bibliográficas

- Ardic, I. y Taner, F. (2005) Effects of thermal, chemical and thermochemical pretreatments to increase biogas production yield of chicken manure, *Fresenius Environmental Bulletin*, **14**, 373–380.
- Appels, L., Lauwers, J., Degreè, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Impea, J.V. and Dewil, R. (2011), Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges, *Renewable and Sustainable Energy*, **15**, 4295-4301.

- Astals, S., Nolla-Ardèvol, V. and Mata-Alvarez, J. (2012), Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: biogas and digestate, *Bioresource Technology*, **110**, 63-70.
- Astals, S., Ariso, M., Galí, A. and Mata-Alvarez, J. (2011), Co-digestion of pig manure and glycerine: Experimental and modelling study. *Journal of Environmental Management*, **92**, 1091-1096.
- Bouallagui, H., Touhami, Y., Ben Cheikh, R. and Hamdi, M. (2005), Biorreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes, *Process Biochemistry*, **40**, 989-995.
- Bouallagui, H., Lahdheb, H., Ben, R., Rachdi, B. and Hamdi, M. (2009), Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition, *Journal of Environmental Management*, **90**, 1844-1849.
- Demirbas, M., Balat, M. and Balat, H. (2011), Biowastes to biofuels, *Energy Conversion and Management*, **52**, 1815–1828.
- Ekama, G.A., Sötemann, S.W. and Wentzel, M.C. (2007), Biodegradability of activated sludge organics under anaerobic conditions, *Water Research*, **41**, 244-252.
- García-Peña, E.I., Parameswaran, P., Kang, D.W., Canul-Chan, M. and Krajmalnik-Brown, R. (2011). Anaerobic digestion and co-digestion processes of vegetable and fruit residues: Process and microbial ecology, *Bioresource Technology*, **102**, 9447–9455.
- Gunaseelan, N. (2004), Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks, *Biomass and Bioenergy*, **26**, 389–399.
- Instituto de Reconversión productiva y Bioenergéticos (IRBIO) (2012), "Proyecto integral, producción de biodiesel en Chiapas." Consultado en marzo de 2012, desde <http://irbio.chiapas.gob.mx/115-proyecto-integral-produccion-de-biodiesel-en-chiapas>
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T. and Dawson, L. (2011), The anaerobic digestion of solid organic Waste, *Waste Management*, **31**, 1737–1744.
- Kolesárová, N., Huntňan, M., Bodík, I. and Spalková, V. (2011), Utilization of biodiesel by products for biogas Production, *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, **2011**, 15.
- Labatut, R.A., Angenent, L.T. and Scott, N.R. (2011), Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates, *Bioresource Technology*, **102**, 2255–2264.
- Organización de las Naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) (2012), Sistema de información para los recursos del pienso, <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/afri/es/Data/476.HTM>. Consultado: febrero de 2012.
- Owen, W., Stuckey, D. and Healy, J. (1979), Bioassay for monitoring bio-chemical methanepotential and anaerobic toxicity. *Water Research*, **13**, 485–92.
- Robra, S., Serpa, R., Oliveira, A., Almeida, J. and Santos, J. (2010), Generation of biogas using crude glycerin from biodiesel production as a supplement to cattle slurry, *Biomass and Bioenergy*, **34**, 1330-1335.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2012), "Producción agroalimentaria". <http://www.siap.gob.mx>. Consultado Octubre de 2012.
- Siles, L.J., Santos, M., Pérez, A. and Martín, A. (2009), Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel Manufacturing, *Bioresource Technology*, **100**, 5609–5615.
- Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J. and Jones, D.L. (2008), Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources, *Bioresource Technology*, **99**, 7928–794