

Potencial de producción de biogás a través de la co-digestión de excretas vacunas y ensilado de sorgo

Potential of Biogas production from the co-digestion of cow manure and sorghum silage

Heredia López, Pedro Antonio¹. Aguilar Juárez, Oscar². Valdez-Vazquez, Idania³.

Resumen

El Sector Agropecuario Mexicano enfrenta el día de hoy diversos retos: lluvias más intensas y frecuentes en la Región Sur, y sequías prolongadas en la Región Norte, escasez en las materias primas que sirven para la producción de alimentos balanceados incrementado de forma continua sus precios, y energéticos cada vez más costos. La producción de energía a partir de los desechos orgánicos que genera el mismo Sector puede aliviar estos problemas. Este estudio tuvo como objetivo determinar el potencial de producción de metano a través de la co-digestión en el rango mesofílico de excretas vacunas y ensilado de sorgo. Se estudiaron 5 tratamientos con diferentes relaciones excreta: ensilado: 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, y 0:100 %. Se encontró que el mayor potencial de producción de metano en el corto tiempo (27 días), se logró con el tratamiento con 100 % de excretas vacunas, 235 m³/tonelada de sólidos volátiles. En los tratamientos que contuvieron ensilado de sorgo, la producción y calidad del biogás fue menor, requiriendo un mayor tiempo de digestión para lograr el máximo potencial.

Palabras clave: Co-digestión, ensilado de sorgo, excretas vacunas.

Abstract

To date, the Mexican Agricultural Sector faces several challenges: frequent and intense rainfall in the Southern Region, prolonged drought in the North Region, shortage of raw materials used for feeding of dairy cows, and increasingly costly energy. Energy production from organic wastes produced from this Sector can alleviate these problems. The aim of this study was to determine the potential of

¹ Universidad Autónoma de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México.

² Universidad Autónoma de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México

³ Unidad Académica Juriquilla, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla 3001, 76230 Querétaro, México. Tel.: +52 (442) 192-61-70. E-mail: IValdezV@iingen.unam.mx.

methane production from the mesophilic co-digestion of cow manure and sorghum silage. Five treatments were studied with manure:silage ratios of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100 %. On day 27, the highest potential of methane production was achieved with 100 % cow manure, 235 m³/ton volatile solids. Treatments containing the sorghum silage, the production and quality of the produced biogas decreased requiring higher digestion times for reach the highest potential.

Keywords: co-digestion, cow manure, sorghum silage

Introducción

Se conoce como cambio climático a la modificación del clima respecto a su comportamiento histórico a nivel regional o global. Esto incluye cambios en los patrones de viento, temperatura, precipitaciones entre otros efectos. A partir del siglo pasado, el ser humano ha liberado grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, en su mayoría provienen de la quema de combustibles fósiles. De acuerdo con datos del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI, 2010), en México las actividades o sectores que contribuyen con la generación de emisiones de GEI son la generación de energía con 67.3 %, las actividades agropecuarias con 12.3 %, los procesos industriales con el 8.2 %, los cambios de uso de suelo y silvicultura con 6.3 %, y los desechos con 5.9 %. Respecto a estos desechos, en 2012 México produjo 22 118 toneladas de residuos orgánicos principalmente restos de comida, residuos agropecuarios, residuos de podas, entre otros. Al descomponerse al aire libre, se emite metano (CH₄), un GEI con un potencial de calentamiento global 25 veces superior al del CO₂.

La problemática del cambio climático ha impactado severamente al sector agropecuario mexicano en diversos aspectos. Se han alterado los períodos de lluvia ya establecidos, provocando lluvias intensas en períodos de tiempo cortos los cuales dan como resultado inundaciones más frecuentes. A su vez, se ha registrado a nivel global un incremento en la temperatura media de 0.6 °C en el período primavera-verano, lo que ha ocasionado sequías en zonas del país donde anteriormente no se suscitaban (Groisman *et al.*, 2014; Hansen *et al.*, 2014). De continuar la tendencia en el incremento de la concentración del CO₂ en la atmósfera, la temperatura media del planeta podría llegar a ser de ≥ 2 °C, lo que tendría serias consecuencias para la vida en la tierra.

Producto de las sequías e inundaciones, se han incrementado los costos de producción en el sector agroindustrial. En los últimos 30 años, la superficie agrícola siniestrada en México ha oscilado entre un mínimo de 1.3 millones de hectáreas

hasta un máximo de 5 millones de hectáreas anuales, que representa entre el 10 al 25 % de la superficie agrícola sembrada (Figura 1). Los eventos meteorológicos como el Huracán Paul en 1982 están relacionados con las mayores pérdidas de cultivos. El maíz grano, es el cultivo que mayormente se ha visto afectado representando entre el 30 al 50 % del total de superficie agrícola siniestrada. Estas pérdidas agrícolas han originado escasez tanto de forrajes como de granos, principales materias primas usadas para la elaboración de los alimentos balanceados del ganado bovino, lo que a su vez ha provocado un incremento constante en el precio de dichos alimentos. Según el Servicio de Información Agroalimentario y Pesquero (SIAP), el precio de la tonelada de sorgo forrajero incrementó de \$439.55 pesos en 2010 a \$524.64 pesos en 2012 representando un incremento de 19.35 %, el precio del maíz forrajero incrementó de \$388.17 a \$588.61 en el mismo periodo lo que representa un incremento en los costos de alimentación del 51.63 %, el precio de la alfalfa en verde tuvo un incremento del 28.88 %, la avena forrajera del 33.61% (SIAP, 2012), sólo por mencionar algunos ejemplos de los forrajes más utilizados en la alimentación animal.

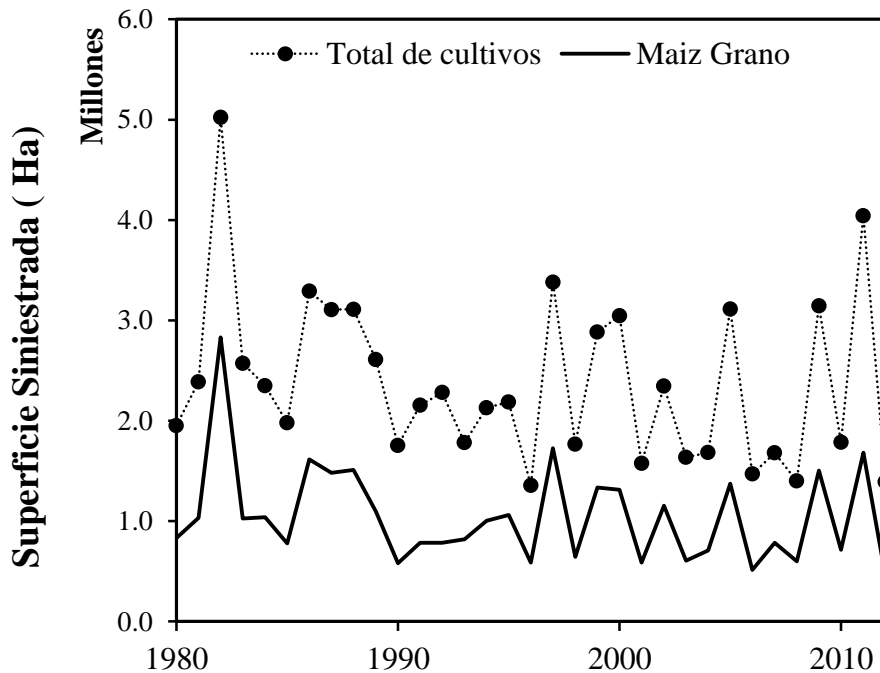


Figura 1.
Superficie agrícola siniestrada en México, 1980 – 2012.
Fuente: SIACON, SAGARPA.

A su vez, el precio de la electricidad ha sufrido incrementos constantes que también repercuten en los costos de producción de alimentos balanceados, establos lecheros, corrales de engorda, industria procesadora de jugos y alimentos, en general impacta negativamente en la agroindustria. De acuerdo con la información de la Secretaría de Energía (SENER, 2013), el precio medio de la tarifa comercial fue de \$2.57 pesos por kWh en 2010, el cual incrementó a \$2.94 pesos por kWh en septiembre de 2013, un incremento del 14.40 %.

Todo lo anterior hace urgente el implementar procesos de producción con una baja huella de carbono, el aprovechamiento de la biomasa puede proveer energía renovable que pudiera ser integrarla en los procesos productivos ya existentes. El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial de producción de metano a través de la co-digestión de dos residuos agroindustriales disponibles en México. Esto puede contribuir directamente a la disminución de las emisiones de GEI producto de la descomposición al aire libre de los residuos agroindustriales, y además proveer energía eléctrica de una fuente renovable.

Materiales y métodos

- **Sustratos.** Los sustratos utilizados para realizar la co-digestión fueron excretas (Ex) frescas obtenidas de un rancho con cabezas bovinas, y ensilado de sorgo (En) con un tamaño de partícula medio de 3 mm.
- **Montaje de digestores.** Los sistemas se montaron en reactores de vidrio de 250 mL con volumen útil de 200 mL. Los digestores fueron cargados con el sustrato a un contenido de sólidos totales del 6 %, el pH inicial se ajustó a 7.0 con una solución de bicarbonato de sodio. En el experimento, se tuvieron 5 tratamientos con diferentes mezclas de los sustratos utilizados: 100 % Excreta (Ex100); 75 % Excreta y 25 % Ensilado de Sorgo (Ex75,En25); 50 % Excreta y 50 % Ensilado de Sorgo (Ex50,En25); 25 % Excreta y 75 % Ensilado de Sorgo (Ex25,En75); y 100 % Ensilado de Sorgo (En100). Los sistemas fueron incubados a 37 ± 1 °C durante 27 días. Se tuvieron cinco réplicas de cada tratamiento.
- **Métodos analíticos.** Los sustratos, así como los sólidos digeridos fueron analizados en cuanto a su contenido de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), cenizas y proteína total de acuerdo a métodos convencionales (Bradford, 1976; APHA *et al.*, 1999). El volumen de biogás generado se midió mediante el desplazamiento del émbolo lubricado de una jeringa de 50 mL. La composición del biogás se determinó mediante un cromatógrafo de gases modelo Perkin Elmer Clarus 580 equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y una columna capilar Elite-GC GS Molesieve (Pérez-Rangel *et al.*, 2014).

- **Análisis Estadístico.** Los resultados fueron analizados estadísticamente con el programa Statgraphiscs Centurion 15.2.1, mediante un análisis de varianza (ANOVA) por comparación de múltiples muestras con un nivel de significancia del 95 %.

Resultados y discusión

La Tabla 1 muestra la caracterización de las excretas bovinas (Ex) y el ensilado de sorgo (En) utilizados para realizar la co-digestión. Se encontró que el contenido de ST en las excretas bovinas estuvo dentro del rango reportado por otros estudios, siendo del 13.4 al 56.2 % (Chen *et al.*, 2003; González-Ávalos y Longoria-Ramírez, 2005; Ayhan *et al.*, 2013). De acuerdo con otros autores, altos contenidos de ST se debe al tipo de alimentación de los animales ya que generalmente los alimentos no son triturados a tamaños en que puedan ser digeridos completamente por los animales por lo que al momento de excretar, buena parte de nutrientes no son aprovechados por el animal y éstos se encuentran presentes en las excretas de los mismos (González-Ávalos y Longoria-Ramírez, 2005).

El contenido de SV de las excretas también fue muy similar al reportado previamente estando en un intervalo entre 83 y 85 % base seca (Chen *et al.*, 2003; Ayhan *et al.*, 2013). El contenido de cenizas en las excretas fue del 15.3 ± 2.6 %. Lo anterior significa que buena parte de los sólidos totales en las excretas contienen materia orgánica aún disponible para su bioconversión en metano. Por otro lado, el contenido de ST SV en el En fue similar que el reportado por otros autores (Schattauer y Weiland, 2006; Podkowka y Podkowka, 2011; Ayhan *et al.*, 2013), mientras que el contenido de SV fue muy bajo lo que se vio reflejado en un alto contenido de cenizas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, el pH de las excretas bovinas fue de 6.0 ± 0.5 Ayhan *et al.* (2013), reportan un pH de excretas bovinas de 6.1, resultado muy similar con respecto a lo obtenido en este estudio. Por su parte, González-Ávalos y Longoria-Ramírez (2005), reportan un pH para las excretas bovinas dentro del rango de 5.4 y 7.9; las variaciones en el pH se atribuyen a la dieta de los animales. Para el ensilado de sorgo, el pH fue de 7.6 ± 0.1 , valor superior a lo reportado previamente (Podkowka y Podkowka, 2011; Ayhan *et al.*, 2013). Esta diferencia pudiera deberse a un menor contenido de ácidos orgánicos, lo que resultó en un pH neutro.

Tabla 1.
Caracterización de los sustratos

Sustrato	ST ¹ (%)	SV ² (%ST)	Cenizas (%ST)	Proteína ³ (mg/g ST)	pH	Ref.
Excreta ⁴	21.6 ± 0.8	84.7 ± 1.7	15.3 ± 2.6	7.1 ± 0.7	6.0 ± 0.5	Este estudio
Ensilado de sorgo ⁴	22.7 ± 1.7	69.8 ± 0.2	30.3 ± 0.8	15.8 ± 0.4	7.6 ± 0.1	Este estudio
Excreta	13.4	83.6	-	-	-	Chen <i>et al.</i> , 2003
Excreta	14.5 - 26.0	-	14.4 - 28.6	-	5.4 - 7.9	González-Ávalos y Longoria-Ramírez, 2005
Excreta	13.4 - 56.2	-	-	-	-	Ministerio de Energía <i>et al.</i> , 2011
Excreta	13.9	82.8	-	15.4	6.1	Ayhan <i>et al.</i> , 2013
Ensilado de sorgo	20.9	-	-	-	4.3	Podkowka y Podkowka, 2011
Ensilado de maíz	23.8	93.6	-	9.9	3.7	Ayhan <i>et al.</i> , 2013
Ensilado de maíz	20 - 35	85 - 95	5 - 15	-	-	Schattauer y Weiland, 2006

Nota: ¹, sólidos totales; ², sólidos volátiles; ³, nitrógeno total Kjeldahl; ⁴, valores promedio de 5 réplicas ($n = 5$)

La figura 2 muestra las cinéticas de producción de biogás y metano a partir de la co-digestión de diferentes relaciones de Ex y En. La producción de biogás sólo se registró durante 27 días, sin embargo, la producción en todos los tratamientos (a excepción del En100), aún se encontraban en su periodo de máxima producción que pudo haber continuado hasta 60 días (Ayhan *et al.*, 2013). Se encontró que la relación Ex y En tuvo un efecto significativo sobre la producción de biogás ($p < 0.05$). Las mayores producciones de biogás se alcanzaron con los tratamientos Ex75, En25 y Ex100, mientras que el tratamiento En100 detuvo su producción a los 10 días de incubación.

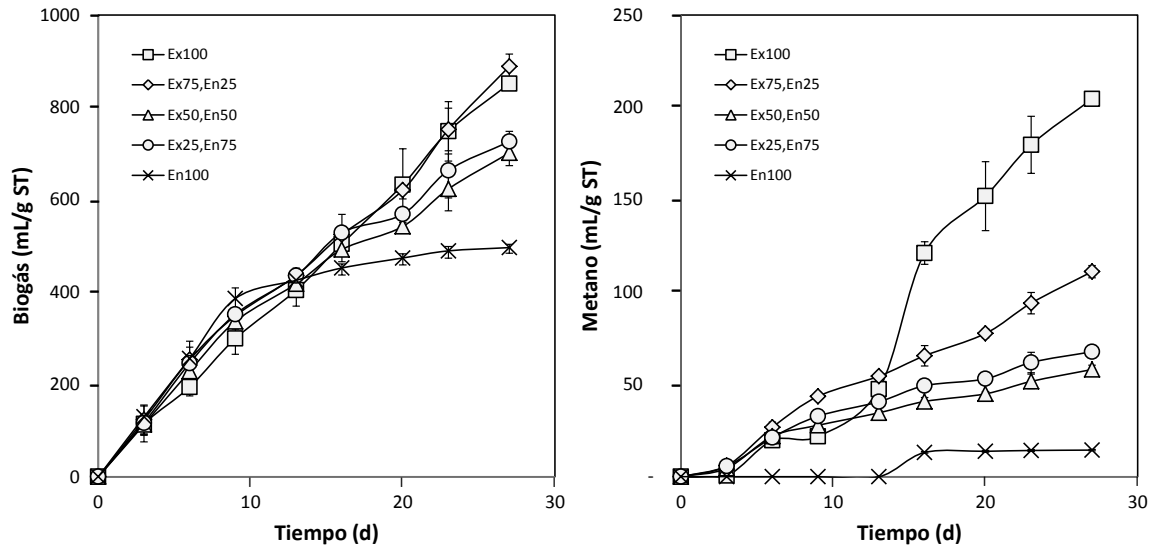


Figura 2.

Cinéticas de producción de biogás y metano de la co-digestión de excretas vacunas y ensilado de sorgo durante 27 días de incubación a 37 °C. Tratamientos: 100 % Excreta (Ex100); 75 % Excreta y 25 % Ensilado de Sorgo (Ex75,En25); 50 % Excreta y 50 % Ensilado de Sorgo (Ex50,En25); 25 % Excreta y 75 % Ensilado de Sorgo (Ex25,En75); y 100 % Ensilado de Sorgo (En100).

En cuanto al porcentaje de metano, se encontró que el tratamiento Ex100 alcanzó el mayor valor con un 24 % al día 27. Es muy probable que este porcentaje de metano hubiera aumentado en los días posteriores de incubación pudiendo llegar hasta el 70 % (Ayhan *et al.*, 2013). En el resto de los tratamientos, el porcentaje de metano osciló entre 8 al 10 %, donde el tratamiento En100 tuvo el menor porcentaje de metano el cual fue detectado hasta el día 12. En suma, a los 27 días de incubación la producción de metano (mL/gST) fue mejor con el tratamiento 100 % excretas (Figura 3).

Se puede decir que las excretas vacunas contribuyeron principalmente en aportar los microorganismos provenientes del rumen del ganado bovino, los cuales llevan a cabo la hidrólisis del material lignocelulósico hasta su mineralización en CO₂ y CH₄. Por este motivo, la digestión con sólo de excretas bovinas transformó el material orgánico aún disponible. Por otro lado, el ensilado de sorgo contribuyó con nutrientes en forma de ácidos orgánicos, los cuales pudieron ser aprovechados rápidamente por los microorganismos encargados de la producción de metano. Por este motivo, el tratamiento Ex75,En25 tuvo la mayor producción de biogás en

comparación con el resto de los tratamientos, sin embargo el porcentaje de metano fue bajo. El tratamiento Ex100 fue el segundo con mayor producción de biogás, pero con un mayor porcentaje de metano en comparación con el tratamiento Ex75,En25. Se considera que el tiempo de incubación de los digestores no fue suficiente para que los microorganismos en el tratamiento Ex75,En25 degradaran el ensilado de sorgo hasta metano.

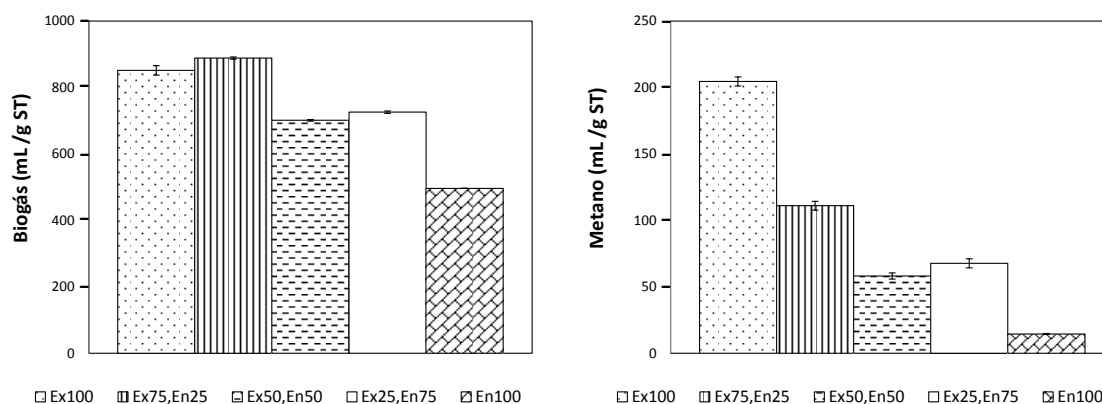


Figura 3.

Producción total de biogás y metano de la co-digestión de excretas vacunas y ensilado de sorgo durante 27 días de incubación a 37 °C. Tratamientos: 100 % Excreta (Ex100); 75 % Excreta y 25 % Ensilado de Sorgo (Ex75,En25); 50 % Excreta y 50 % Ensilado de Sorgo (Ex50,En25); 25 % Excreta y 75 % Ensilado de Sorgo (Ex25,En75); y 100 % Ensilado de Sorgo (En100).

A los 27 días de incubación, el mayor potencial de metano fue de 235 m³/ton de SV en el tratamiento de 100 % excretas, el cual fue superior al potencial de producción de metano típicamente reportado para este residuo que oscila entre 70 a 300 m³/ton de SV (Ogejo y Li, 2010; Baba y Nasir, 2012; Surendra *et al.*, 2014). Por otro lado, la co-digestión con ensilado de sorgo, sólo aumentó la producción de biogás, pero no el contenido de metano. De acuerdo con Crolla *et al.* (2011), la co-digestión de excretas bovinas con otros sustratos es muy exitosa permitiendo incrementar la producción y calidad del biogás. Los autores reportan que agregar un 30 % de un co-sustrato a las excretas bovinas, permite incrementar la producción de metano entre el 20 al 60 % en comparación con la digestión anaerobia de excretas bovinas. En este estudio, todos los tratamientos que contuvieron ensilado de sorgo, tuvieron una menor calidad de biogás y se estima que para lograr el máximo potencial de producción de metano fue necesario un mayor tiempo de incubación.

Este trabajo demuestra que es posible lograr un potencial importante de producción de metano a partir de la digestión de las excretas vacunas en un periodo de tiempo corto. Esto evitaría la contaminación de los cuerpos de agua por la mala disposición de estos residuos agropecuarios, los sólidos digeridos podrían utilizarse como biofertilizantes lo que disminuiría el consumo de los fertilizantes químicos, y se podría realizar la autogeneración de electricidad garantizando de este modo una producción sustentable con una huella de carbono muy baja, y lo más relevante para los productores es que los costos de producción disminuirían.

Conclusiones

Se llevó a cabo la co-digestión de excretas vacunas y ensilado de sorgo en un corto periodo de tiempo (27 días), se encontró que el mejor tratamiento fue aquel que sólo contuvo excretas vacunas con un potencial de producción de metano de 235 m³/ton de SV con un contenido de metano del 24 %. Por otro lado, el tratamiento con la mayor producción de biogás fue aquel que tuvo una relación excretas: ensilado de sorgo de 75:25 % con 1200 m³/ton de SV, pero con un contenido de metano del 15 %. Por tanto, la co-digestión de excretas con ensilado de sorgo en un periodo de tiempo corto disminuyó la producción y calidad del biogás generado.

Agradecimientos

El autor PAHL agradece al CONACYT por la beca otorgada para sus estudios de Posgrado. Este trabajo fue financiado por el CONACYT a través de los proyectos del Fondo Sectorial CONACYT-SENER – Sustentabilidad Energética (proyecto no. 150001) y Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de la Infraestructura Científica y Tecnológica (proyecto no.188432).

Bibliografía

American Public Health Association (APHA). 1999. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. American Public Health Association/American Water Works Association/ Water Environment Federation. Washington DC.

Ayhan A, Qingyu L, Alibas K, Unal H. 2013. Biogas Production from Maize Silage and Dairy Cattle Manure. *J Animal Veterinary Adv* 12(5):553-556.

Baba SUIA, Nasir I. 2012. Anaerobic digestion of cow dung for biogas production. *ARPN J Eng Appl Sci* 7(2):169-172.

Bradford M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein- Dye Binding. *Anal Biochem.* 72, 248.

Chen S, Liao W, Liu C, Wen Z, Kineaid R, Harrison J, Elliot ., Brown M, Solana A, Stevens D. 2003. Value-added chemicals from animal manure. Washington, Estados Unidos. 142 p.

Crolla A, Kinsley C, Sauvé T, Kennedy K. 2011. Anaerobic digestion of various co-substrates. Universidad de Guelph.

González-Ávalos E, Longoria-Ramírez R. 2005. Valoración del pH durante los procesos anaerobios de emisión de metano por el secado y la fermentación de excretas de ganado bovino en el centro de México. *Rev Inter Cont Amb* 21(4):159-170.

Hansen J, Sato M, Ruedy R. 2014. Global temperature update through 2013. Disponible en línea: www.nasa.gov/pdf/719139main_2012_GISTEMP_summary.pdf.

Groisman PY, Knight RW, Zolina OG. 2014. Recent Trends in Regional and Global Intense Precipitation Patterns. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from *Climate Vulnerability* 5:25-55.

Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI). (2010). Inventario de gases de efecto invernadero por sector en México. 58 págs.

Ogejo JA, Li L. 2010. Enhancing biomethane production from flush dairy manure with turkey processing wastewater. *Appl Energy* 87:3171–3177.

Pérez-Rangel M, Quiroz-Figueroa FR, González-Castañeda J, Valdez-Vazquez I*. 2014. Microscopic analysis of wheat straw cell wall degradation by microbial consortia for hydrogen production. *Int J Hydrogen Energy*. In prensa.

Podkowka Z, Podkowka L. 2011. Chemical composition and quality of sweet sorghum and maize silages. *J Central Eur Agr* 12(2):294-303.

Schattauer A, Weiland P. 2006. Beschreibung ausgewählter Substrate. Handreichung Biogasgewinnung und nutzung. Gülzow. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Alemania. 233 págs.



Secretaría de Energía (SENER). 2013. Precios medios de energía eléctrica en México. México.

Servicio Agroalimentario y Pesquero (SIAP). 2012. Producción Nacional por Cultivo. México.

Surendra KC, Takara D, Hashimoto AG, Khanal SK. 2014. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renew Sustain Energy Rev* 31:846–859.