

GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL COMEDOR DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA

Biogas generation from organic waste of the dining room of the university of sonora

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

ISSN: 2007-4530 (impresa)

Lorena Gabriela Berrelleza Robles¹
Francisco Javier Armendariz Tapia²
Onofre Monge Amaya³
Maria Teresa Certucha Barragán⁴
Sergio Pérez Fabiel⁵

Recibido: 14 de marzo de 2016,

Aceptado: 30 de mayo del 2016

Autor de Correspondencia:

Dr. Francisco Javier Almendariz Tapia

Correo: fjalmdariz@iq.uson.mx

NOMENCLATURA UTILIZADA

Símbolo:

DQO: Demanda química de oxígeno

C/N: Relación carbono/nitrógeno

AME: Actividad metanogénica específica

SST: Sólidos suspendidos totales

SF: Sólidos fijos

SSV: Sólidos suspendidos volátiles

SVT: Sólidos volátiles totales

Resumen

En este trabajo se evaluó el efecto de la biodegradabilidad anaerobia de los residuos sólidos orgánicos por medio de una biometanización para producir biogás como fuente de energía renovable. Para fines de este estudio se utilizaron los residuos sólidos de los alimentos provenientes del Comedor Universitario de la Universidad de Sonora. Las pruebas se realizaron por triplicado en botellas serológicas con volumen de operación de 120 mL, a las que se les adicionó cinco concentraciones de residuos (0.06, 0.12, 0.24, 0.6 y 1.2 gSVT), fueron inoculadas con biomasa metanogénica (0.24 gSSV) y se mantuvieron a 35°C por 30 días, la toxicidad de los residuos sobre la biomasa metanogénica se realizó con las mismas concentraciones pero se adicionó 5 g/L de acetato de calcio, por último se estudió el efecto del inóculo en cuatro proporciones diferentes de biomasa (0,1.66, 2.66 y 5.66 gSSV). Los resultados mostraron una producción de 71 m³ de metano por tonelada de residuos sólidos orgánicos el cual es superior al reportado en la literatura.

Palabras clave: Biometanización, potencial bioquímico de metano, actividad metanogénica específica.

Abstract

The effect of the anaerobic biodegradability of organic solid waste through a biomethanization to produce biogas as a renewable energy source was evaluated in this study. For this purpose solid waste food from the University restaurant of the Universidad de Sonora was used.

Tests were performed in triplicate in serological volume bottles were taken with 120 mL and five different organic loads (0.06, 0.12, 0.24, 0.6 and 1.2 gTVS) were applied, also were inoculated with methanogenic biomass (0.24 gVSS) and maintained at 35°C for 30 days, toxicity tests on the methanogenic biomass was performed with the same concentrations but 5 g/L of calcium acetate was added; in addition, finally the effect of inoculum was studied in four different proportions of biomass (0,1.66, 2.66 and 5.66 gVSS). The results showed a production of 71 m³ of methane per ton of organic solid waste, which is higher than reported in literature.

Key words: Biomethanization, biochemical methane potential, specific methanogenic activity.

1 Depto. de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora / Correo: lorenagbr@outlook.com

2 Depto. de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora / Correo: fjalmdariz@iq.uson.mx

3 Depto. de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora / Correo: onofrem@iq.uson.mx

4 Depto. de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora / Correo: mtcertucha@iq.uson.mx

5 Universidad Politécnica de Chiapas / Correo: sperez@upchiapas.edu.mx



INTRODUCCIÓN

Se define al residuo sólido como aquella sustancia u objeto generado por una actividad productiva o de consumo, de la que hay que desprenderse por no ser objeto de interés directo de la actividad principal [1].

En los últimos años se ha mostrado un gran interés en la aplicación del proceso de digestión anaerobia para el procesamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, por la posibilidad de recuperar metano y por el hecho de que el material digerido es similar al compost producido aeróbicamente [2].

La biometanización es un proceso biológico anaerobio que transforma la fracción orgánica (mediante fermentación) en CH_4 , CO_2 , H_2O y un material inerte denominado "digestato", que tras un tratamiento posterior, puede ser utilizado como enmienda orgánica por tener propiedades fertilizantes. En el proceso de digestión anaerobia se consigue una reducción del contenido de materia orgánica entre un 45% y 60% y requiere de condiciones de operación dentro de unos estrictos rangos de temperatura [3,4].

En este trabajo se estudió la viabilidad de la biometanización de los residuos sólidos orgánicos generados en el comedor de la Universidad de Sonora, por lo que se evaluó la cantidad de residuo que puede ser bioconvertida a metano; el efecto tóxico de los RSO sobre las bacterias acetoclásticas y la cantidad óptima de biomasa para mejorar la producción del biogás, contribuyendo así a la sustentabilidad ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

El equipo experimental fue ubicado en las instalaciones del laboratorio de Biorremediación del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora, edificio 5-C.

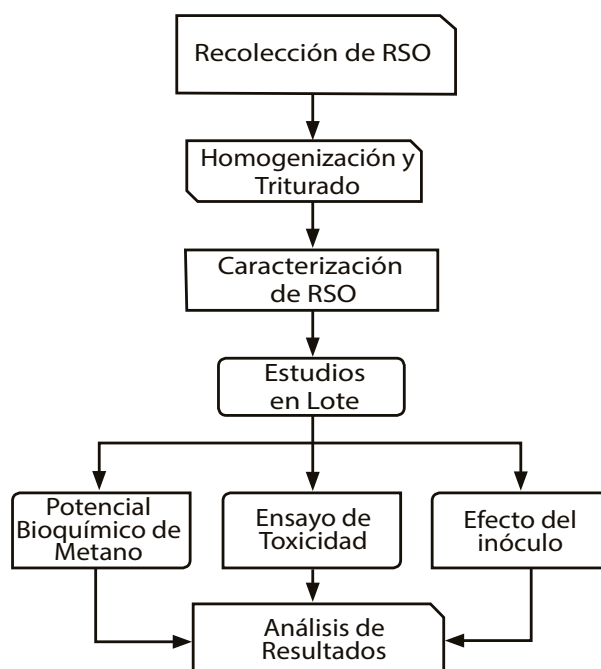


Figura 1. Metodología general.

La primera parte de este trabajo contempla la selección de los residuos sólidos orgánicos (RSO) procedentes del comedor universitario de la Universidad de Sonora, el método de recolección de los residuos sólidos orgánicos fue descrito de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NMX-AA-15-1985). Se obtuvo una muestra de aproximadamente 10 kg. Posteriormente se realizó una trituración en condiciones húmedas utilizando un molino de carne convencional para reducir el tamaño de partícula y obtener un compósito de los residuos (Figura 2). Los lodos anaerobios fueron obtenidos del digestor de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de una industria cervecera.



Figura 2. Molienda de los residuos sólidos orgánicos.



RSO



Molienda de los RSO



Compósito de los RSO

La caracterización de los residuos sólidos orgánicos se realizó de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana y por los métodos estándares. En la tabla 1 se muestran los distintos métodos analíticos utilizados para la caracterización físico-química de los residuos sólidos orgánicos.

Tabla 1. Métodos analíticos empleados para la caracterización de los RSO.

Parámetro	Método estándar
Sólidos totales (ST)	Método Gravimétrico-APHA/SM 2540
Sólidos fijos (SF)	Método Gravimétrico-APHA/SM 2540
Sólidos volátiles totales(SVT)	Método Gravimétrico-APHA/SM 2540
Grasas	NMX-F-089-S-1978
Humedad	NMX-AA-016-1984
Materia orgánica	NMX-AA-21-1985
pH	NMX-AA-25-1984
Hidrógeno	NMX-AA-68-1986
Nitrógeno total	NMX-AA-24-1984
Carbono	Golueke 1977
C/N	NMX-AA-67-1985

ENSAYOS EN LOTE

En la segunda parte de este trabajo se llevaron a cabo los ensayos en lote. El compósito de los RSO fue licuado por cinco minutos en una licuadora convencional, para posteriormente ser agregado a las botellas en sus diferentes concentraciones. Los estudios del Potencial Bioquímico de Metano (PBM) se llevaron a cabo en botellas serológicas de capacidad de 160 mL con volumen de operación de 120 mL con una relación de carga de los RSO de 0.06, 0.12, 0.24, 0.6 y 1.2 gSVT; se inocularon con lodo anaerobio a 0.24 gSSV. Los ensayos de toxicidad de los RSO se realizaron de la misma manera pero las bacterias metanogénicas acetoclásticas se activaron con acetato de calcio agregando 5g/L a cada botella. Para el efecto del inóculo en el PBM la concentración de basura se fijó en 0.24 gSVT y mientras que la adición de biomasa varió de 0, 1.66, 2.26 y 5.66 gSSV, respectivamente. Para los tres ensayos las botellas se incubaron a 35°C, 50 RPM y el metano producido se midió por desplazamiento de una solución de NaOH al 3%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los residuos sólidos orgánicos

En la tabla 2 se presentan los resultados de la caracterización físico-química de los residuos sólidos orgánicos (RSO).

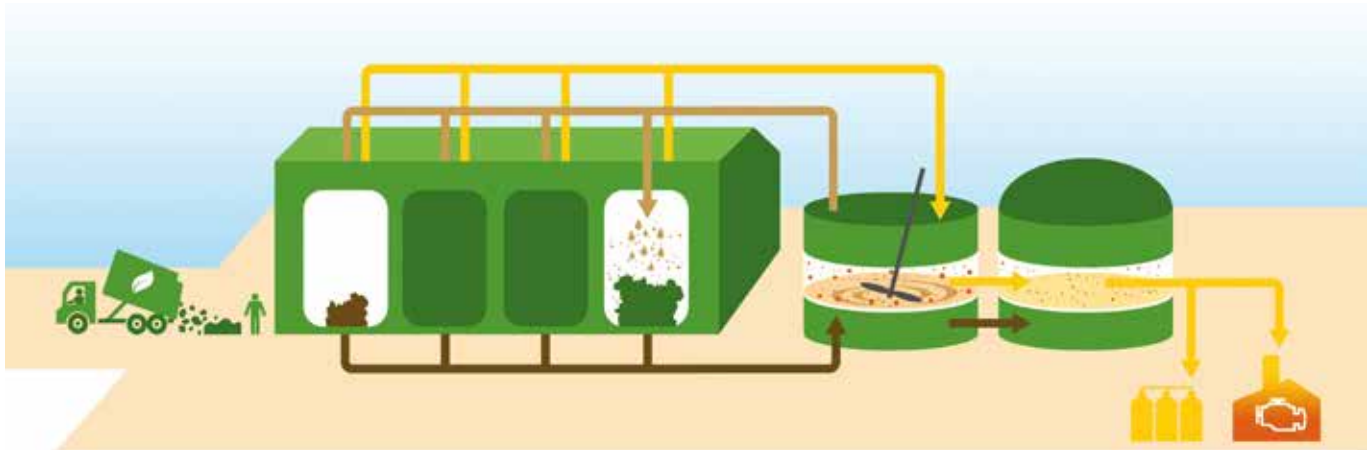


Tabla 2. Caracterización físico química de los RSO del comedor universitario de la Universidad de Sonora.

Parámetro	Valores iniciales (%)
Sólidos totales (ST)	21.20
Sólidos fijos (SF)	3.53
Sólidos volátiles totales (SVT)	13.91
Grasas	4.06
Humedad	74
Materia orgánica	23.35
pH	5.15 (adimensional)
Hidrógeno	1.55
Nitrógeno (N)	3.68
Carbono (C)	9.7
C/N	2.63 (adimensional)

La composición de los residuos orgánicos se encontró muy variada de acuerdo al tipo de comida preparada en el día de la recolección. Se encontró gran cantidad de productos de origen vegetal, harinas, productos cárnicos. Se encontró un porcentaje de humedad de los residuos de un 74% y un porcentaje de sólidos totales de 21.20% en peso. El alto contenido de humedad y de las fracciones orgánicas (SVT) de los RSO lo hace susceptible para el tratamiento anaerobio, ya que la etapa de hidrólisis que generalmente es un paso limitante en la digestión anaerobia no inhibe el proceso por la alta cantidad de líquidos [5].

ANÁLISIS DE DATOS

Actividad metanogénica específica (AME) de los RSO

Es una medida experimental de la capacidad de la materia orgánica y del sustrato para generar metano (CH_4). En el cual, éste procedimiento indica la cantidad de CH_4 como demanda química de oxígeno (DQO) que se produce por unidad de biomasa por día, y que se expresa en $\text{gDQO}_{\text{CH}_4}/\text{gSSV}\cdot\text{d}$ donde SSV representa la cantidad de

gramos de sólidos suspendidos volátiles de la muestra a estudiar. El CH_4 producido se calcula por desplazamiento del líquido, en este caso, NaOH [6].

El volumen de gas producido con respecto al tiempo fue calculado tomando en cuenta la temperatura de la cinética y la presión atmosférica de la ciudad de Hermosillo, Sonora. La AME está descrita por la ecuación 1:

$$\text{AME} = \frac{m}{\frac{V_{\text{CH}_4}}{\text{DQO}} \cdot X} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

$$\text{Pendiente} = m = \frac{L_{\text{CH}_4}}{d} \text{ (STP)}$$

$$\text{Biomasa} = X = \frac{g_{\text{SSV}}}{L}$$

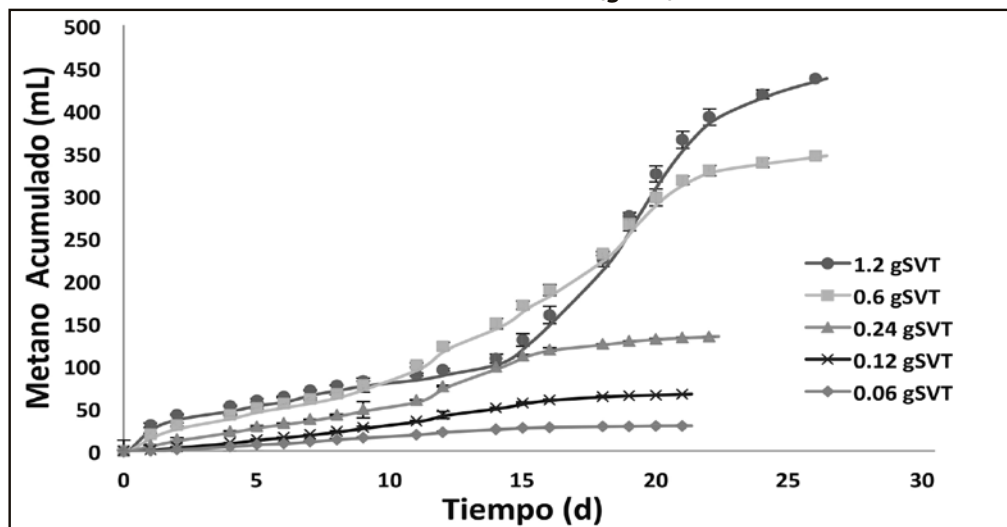
$$\text{Conversión de metano} = \frac{m}{\frac{V_{\text{CH}_4}}{\text{DQO}}} = 0.35 = \frac{L_{\text{CH}_4}}{g_{\text{DQO}}}$$

Desde el reactor biológico se conecta a una botella invertida que contiene una sustancia alcalina a base de NaOH al 5%, por medio de una manguera, la cual funciona como botella de Mariotte; esta botella está tapada con un tapón de caucho, tiene dos agujas hipodérmicas a una de las cuales se le conecta la manguera que transporta el biogás proveniente del reactor. Debido al alto valor de pH contenido de la botella, el CO_2 queda retenido en la sustancia alcalina, mientras que el metano no se disuelve, genera un desplazamiento del líquido, el cual representa el volumen de CH_4 contenido en el biogás [7].

Potencial bioquímico de metano

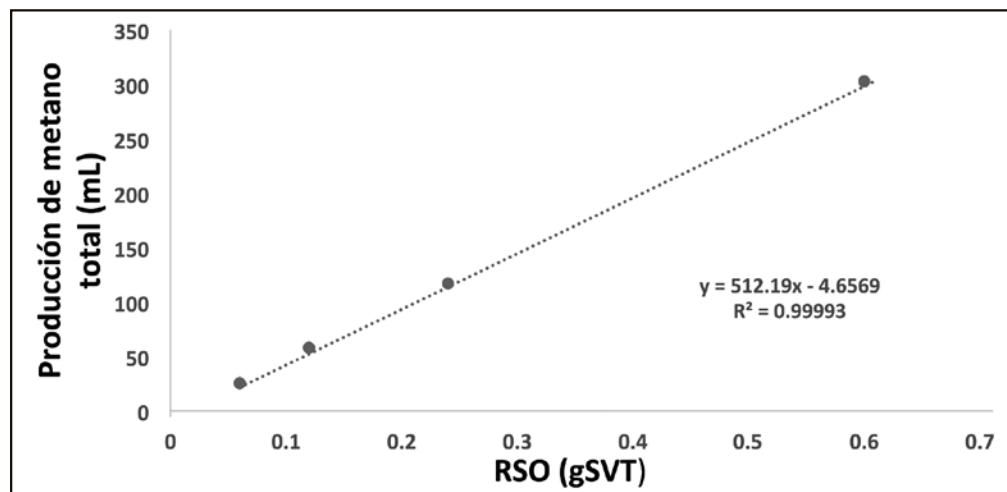
La producción de biogás en las botellas serológicas fue medido por 30 días. La concentración de los RSO afectó la producción de metano. En la Figura 3 se observa que al incrementar la concentración de los SVT aumenta la producción de metano, logrando una producción máxima de 437 mL en la concentración de 1.2 gSVT a los 26 días. En las concentraciones de 0.6 y 1.2 gSVT se observó un aumento en la velocidad de producción de metano partir del día 15, posiblemente debido a una adaptación de las bacterias anaerobias a la alta concentración de materia orgánica [8].

Figura 3. Evolución de la producción de metano a concentraciones crecientes de los RSO (gSVT).



Con base en los volúmenes totales de CH_4 producido en cada uno de los ensayos se observó que la producción fue directamente proporcional a las concentraciones de los RSO añadidas hasta 0.6 gSVT (Figura 4), mientras que a la concentración de 1.2 la producción de metano disminuyó (dato no mostrado); y de acuerdo al comportamiento lineal mostrado en la figura 4 se determinó que la producción de CH_4 fue de 512 mL por gramo de SVT inicial de RSO. Tomando en cuenta el contenido de los SVT en los residuos orgánicos se estimó una producción total de 71 m^3 de metano por tonelada de RSO. Estos datos son superiores a los reportados por Thomas et al., [9] quienes reportaron una producción de 260 mL de metano por gramo de SVT así como 40 m^3 de metano por tonelada de desechos de alimentos.

Figura 4. Producción total de metano por gramos de SVT inicial de los RSO.



De acuerdo a la producciones exponenciales de metano observados en la figura 3, se determinaron las actividades metanogénicas específicas ($\text{gDQO}_{\text{CH}_4}/\text{gSSV}\cdot\text{d}$) para cada una de las concentraciones probadas. En la figura 5 se observa que al aumentar la concentración de los SVT aumenta la actividad metanogénica siguiendo una cinética de primer orden, el cual está descrito por la siguiente ecuación (Ecuación 2):

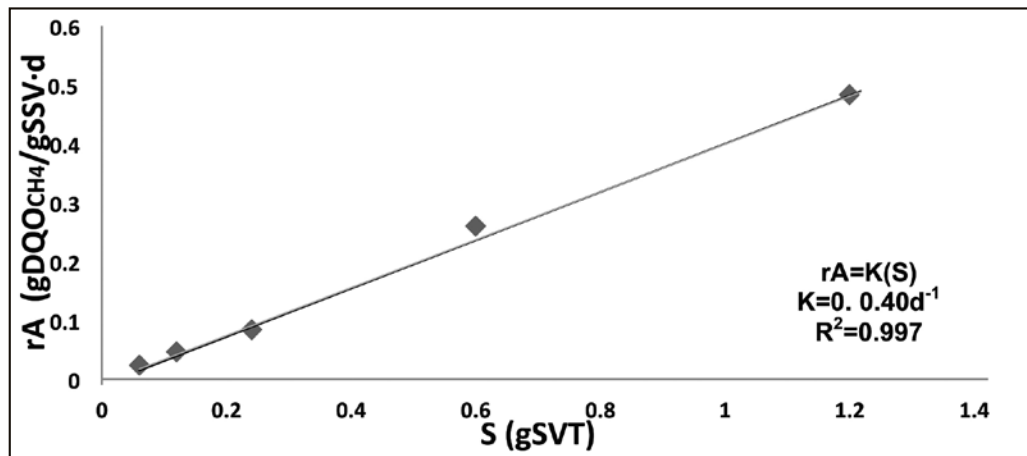
$$rA=K(S) \quad (2)$$





Donde rA es la actividad metanogénica específica ($\text{gDQO}_{\text{CH}_4}/\text{gSSV}\cdot\text{d}$), K es la constante de reacción (d^{-1}), S es la concentración del sustrato (gSVT). En este caso, una línea recta con una pendiente igual a K y un intercepto en el eje "y" igual a cero expresa el efecto de la concentración de los RSO en la actividad metanogénica específica. La figura 5 ilustra la influencia de la concentración de los RSO en la actividad metanogénica en donde la línea recta teórica obtenida con el intercepto igual a cero indica que un modelo de primer orden describe satisfactoriamente los datos experimentales. La pendiente obtenida, el cual representa el valor de la constante de reacción (K) fue de 0.40 d^{-1} con un ajuste de R^2 igual a 0.997 . Este modelo de primer orden predice con precisión el comportamiento de la cinética del potencial bioquímico de metano, mostrando desviaciones inferiores al 5% entre los valores experimentales y teóricos de la AME.

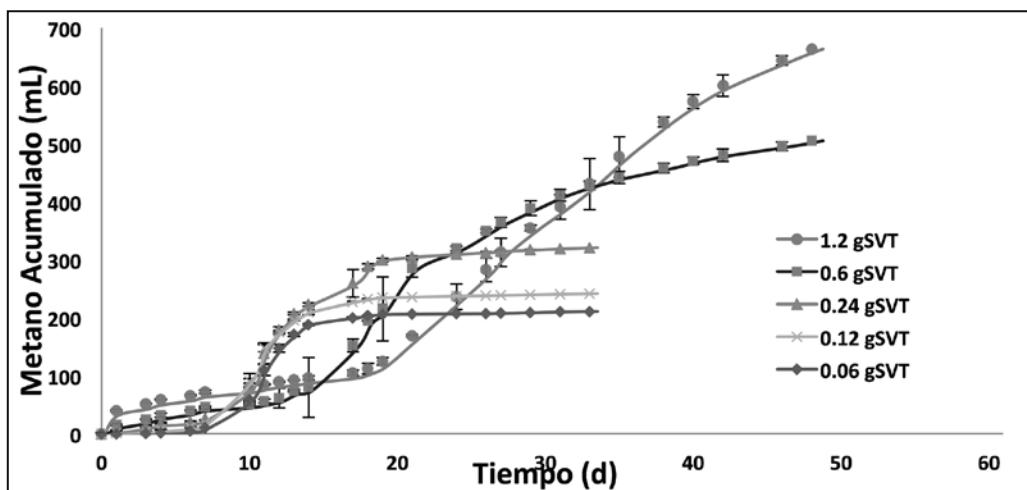
Figura 5. Cinética de primer orden de la AME a diferentes concentraciones de los RSO.



ENSAYOS DE TOXICIDAD

En la figura 6 se muestra el efecto de la concentración de los RSO en la producción de metano de las bacterias metanogénicas acetoclásticas, en donde a bajas concentraciones (0.06 a 0.24 gSVT) se observó una fase de retardo de siete días, mientras que la fase exponencial comenzó a partir del día 10 con una producción de metano máxima de 300 mL en la concentración de 0.24 gSVT . Por otro lado, en altas concentraciones la fase exponencial empezó a partir del día 14, con producciones máximas de metano de 505 y 663 mL para 0.6 y 1.2 gSVT respectivamente.

Figura 6. Efecto de la concentración de los RSO en la producción de metano de las bacterias metanogénicas acetoclásticas.



Con respecto a las producciones exponenciales de metano observado en la figura 6, se determinaron las actividades metanogénicas específicas para cada una de las concentraciones probadas. Las altas concentraciones de los RSO afectó la actividad de las bacterias metanogénicas acetoclásticas. A bajas concentraciones se observó un aumento gradual de la actividad metanogénica con las concentraciones de 0.06 a 0.24 gSVT con un máximo de 0.06 gDQO_{CH₄}/gSSV·d, mientras que a altas concentraciones la AME disminuyó un 56%. Los datos experimentales se ajustaron al modelo de Haldane (Ecuación 3) el cual es uno de los más utilizados en pruebas de inhibición por sustrato [10], relaciona la velocidad del crecimiento microbiano con la concentración del sustrato inhibitorio, en este caso, la degradación del sustrato es disminuida por la elevada concentración del mismo y la mayoría de los sustratos no sufren posterior degradación [11]., de acuerdo al modelo se obtuvo una μ_{max} de 0.50d⁻¹, K_s de 0.021 g/L y una K_i de 0.46 g/L con un ajuste de R²=0.9041. La constante de inhibición representa la concentración alta de sustrato en donde la $\mu = 1/2$ y K_s representa la concentración baja de sustrato donde $\mu=1/2$ [10]. Los valores teóricos del modelo de Haldane fueron estimados mediante la herramienta Solver en una hoja de cálculo de Excel.

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{S}{K_s + K_i \cdot S^2} \quad (3)$$

Donde:

μ = Velocidad específica de crecimiento (AME)

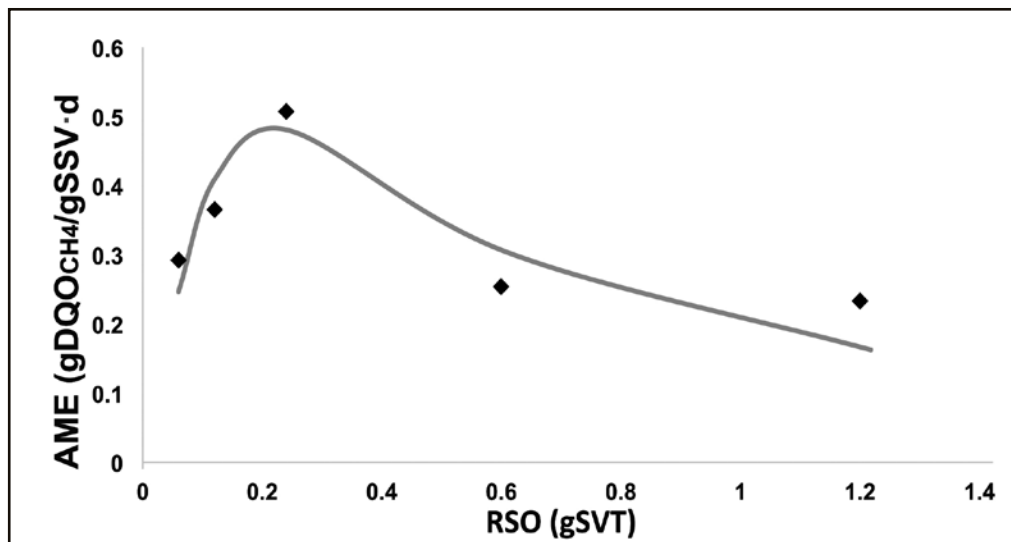
μ_{max} = Velocidad máxima de la actividad

S = Sustrato RSO (gSVT)

K_i = Constante de inhibición del sustrato

K_s = Constante de saturación del sustrato

Figura 7. Ajuste del modelo de Haldane en la inhibición por sustrato de las bacterias acetoclásticas.



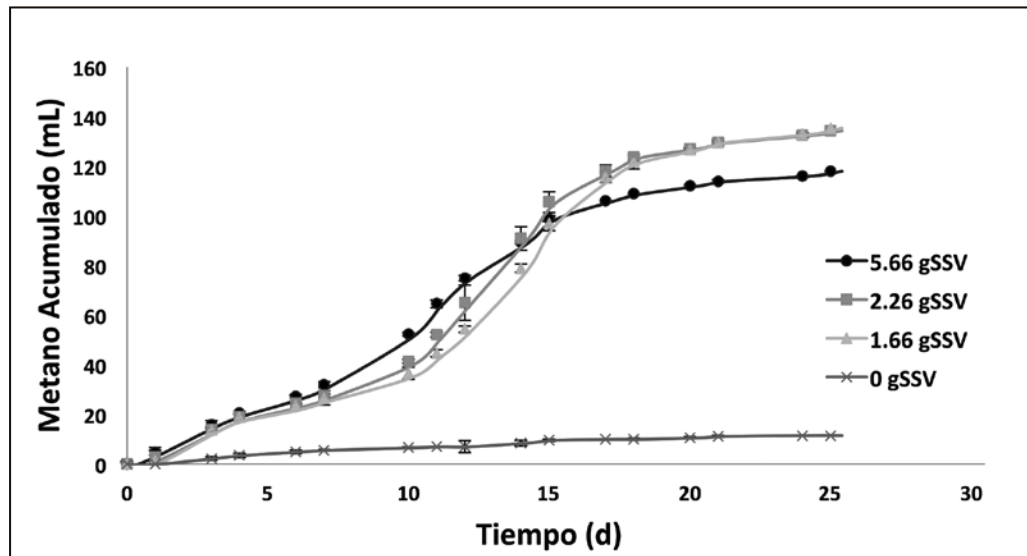
Efecto de los niveles de inóculo en la producción de metano

En la figura 8 se observa el efecto de la adición de biomasa sobre la producción de metano de los residuos orgánicos. La cantidad de materia orgánica utilizada para cada ensayo fue de 0.24 gSVT. Mientras que la cantidad de inóculo varió de 0 a 5.66 gSSV. La producción de metano es proporcional a los niveles de biomasa. Sin biomasa, se observó una baja producción de metano de 11 mL a los 24 días, mientras que en niveles superiores (1.66 a 5.66 gSSV) se presentó un aumento en la producción de metano logrando una producción máxima de 134 mL en el día 24.



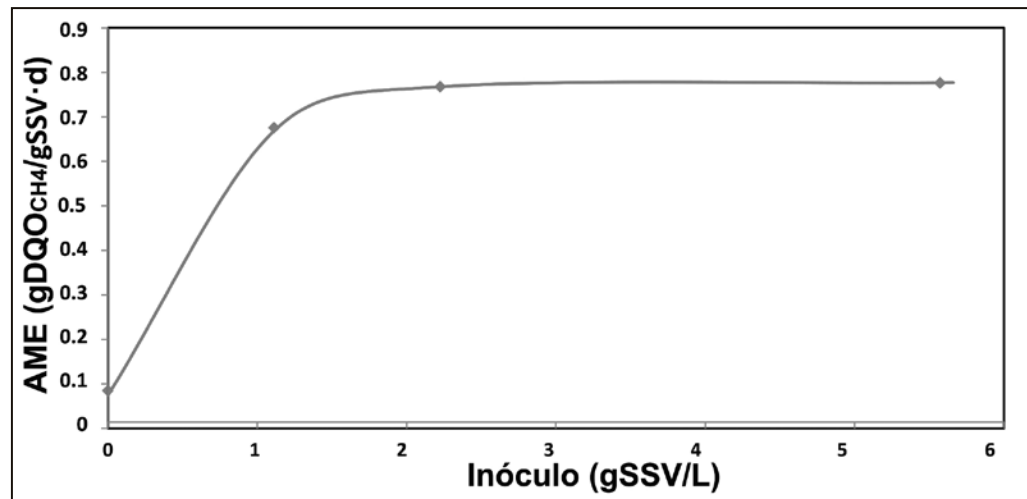


Figura 8. Efecto de niveles de inóculo en la producción de metano de los residuos sólidos orgánicos.



Con base en las producciones exponenciales de metano observado de la figura 8, se determinaron las actividades metanogénicas específicas para cada una de las concentraciones probadas. Con el objetivo de observar el efecto de los niveles de inóculo en las actividades. Sin adición del inóculo la AME fue casi nula con un valor de 0.072 $\text{gDQO}_{\text{CH}_4}/\text{gSSV}\cdot\text{d}$, y se incrementó a 0.67 al aumentar el nivel de biomasa a 1.13 gSSV/L , posteriormente la actividad se estabilizó en 0.76 $\text{gDQO}_{\text{CH}_4}/\text{gSSV}\cdot\text{d}$, en los subsecuentes niveles probados, por lo tanto, es recomendable trabajar con niveles de biomasa alrededor de 1.5 gSSV/L .

Figura 9. Efecto de los niveles de inóculo en la actividad metanogénica específica durante la producción de metano de los RSO.



CONCLUSIONES

La caracterización de los RSO presentó un elevado contenido de humedad lo cual es favorable para solubilizar la materia orgánica susceptible a la biometanización. También presentó un contenido rico en materia orgánica y nitrógeno entre otros elementos que satisfacen las necesidades de crecimiento y producción de metano de las bacterias anaerobias.



El potencial bioquímico de metano es un método valioso para evaluar la máxima producción de metano de los RSO además de su biodegradabilidad, así como su tasa específica de biometanización. La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos del comedor universitario tiene un potencial de producción de 71 m³ de metano por tonelada de RSO lo cual es superior a lo reportado en la literatura.

Las altas concentraciones de los RSO (0.6-1.2 gSVT) afectó la actividad de las bacterias metanogénicas acetoclásticas por lo que se debe cuidar la carga orgánica utilizada para evitar inhibición por sustrato de éstas bacterias las cuales son las que realizan el 70% de la producción de metano.

Es importante utilizar una cantidad adecuada de inóculo para optimizar el proceso. La producción de metano incrementó con el aumento de los niveles de biomasa. Los resultados de este trabajo se demuestran que se requiere una baja cantidad de biomasa (1.5 gSSV/L) y en concentraciones superiores no se favoreció el proceso.

La producción de metano de los RSO es viable para su utilización como fuente de energía y a su vez contribuye a la sustentabilidad ambiental. Los resultados de las pruebas del potencial bioquímico de metano pueden ser utilizados para la calibración de modelos matemáticos y simular los procesos de digestión con el fin de predecir el comportamiento de digestores a escala real.

La biometanización presenta resultados prometedores que deben ser objeto de mayores estudios como el seguimiento de metabolitos primarios y secundarios durante la metanización, así como investigar nuevos diseños para optimizar el proceso.

RECONOCIMIENTOS

Al Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora, por otorgar el espacio y los apoyos para realizar este experimento; a la profesora

Q.B. María Elena Ochoa Landín por su apoyo en las técnicas analíticas para la caracterización de los residuos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Elías X. (2009). Reciclaje de Residuos Industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. 2da edición.
- [2] López M., Espinoza M., Martínez V., Ramos C., Pellón A. (2003). Desarrollo y Tendencias en la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos. Centro Nacional de Investigaciones Científicas.
- [3] JRC (2011). Supporting Environmentally Sound Decisions for Bio-Waste Management.-A practical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) in the context of bio-waste management. JRC Scientific and Technical Reports. European Union. Joint Research Centre (JRC). Institute for Environment and Sustainability (IES).
- [4] Canvinato, C., Bolzonella, D., Pavan, P., Fatone, F., Cecchi, F. (2013). Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge and source sorted biowaste in pilot and full-scale reactors. *Renewable Energy* (55) 260-265.
- [5] Juanga J. P. (2005). Optimizing Dry Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste. Master Thesis. Asian Institute of Technology. Thailand 2005.
- [6] ZEEUW.W (1987). Granular sludge in USAB reactors, Proceeding of the gasmat workshop. Lungstem Netherlands.
- [7] Sterling (1989). (Citado de: López G., Método no convencional de medición de gases en la digestión anaerobia. Estimación del porcentaje de metano presente en el biogás) [En línea] [Consulta: 28 de junio de 2014]. Disponible en: <http://cidc.udistrital.edu.co/investigaciones/documentos/revistacientifica/rev5/vol1/1Gases.pdf>.
- [8]. Speece R. E. (1996). *Anaerobic Biotechnology for Industrial wastewaters* Archae press USA.
- [9] Thomas S., Burns R., Raman R., Moody L. (2010). "Approaches for Selecting Anaerobic Digestion Co-Substrates for a Full-Scale Beef Manure Digester Using Biochemical Methane Potentials and Anaerobic Toxicity Assays". *Agricultural and Biosystems Engineering Conference Proceedings and Presentations*. Paper 57.
- [10] Rigo M., Monte R., Vidal J., Coelho N., Gaspar R. (2010). Catechol Biodegradation Kinetics Using *Candida Parapsilosis*. *Universidade Estadual de Campinas*. SP Brasil.
- [11] Autenrieth R. L., Bonner J.S., Akgerman A., Okaygun M. y McCreary E.M. (1991). Biodegradation of phenolic wastes. *J. Hazard. Mat.* 28 : 29-53.