

Estimación del potencial metanogénico de la codornaza considerando las variables de dilución, adición de nutrientes y codigestión

Estimation of the methanogenic potencial of cordornaza considering the variables of dilution, nutrients addition and codigestion

Teresa Salazar-Rojas¹, María Porrás-Acosta², Nicolás Vaquerano-Pineda³, Alexia Quirós-Rojas⁴

Fecha de recepción: 21 de noviembre de 2015
Fecha de aprobación: 14 de febrero de 2016

Salazar-Rojas, T; Porrás-Acosta, M; Vaquerano-Pineda, N; Quirós-Rojas, A. Estimación del potencial metanogénico de la codornaza considerando las variables de dilución, adición de nutrientes y codigestión. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29-4. Octubre-Diciembre 2016. Pág 102-110.

DOI: 10.18845/tm.v29i4.3041

- 1 Profesora e investigadora de la Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: tsalazar@itcr.ac.cr
- 2 Profesora e investigadora de la Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: mporras@itcr.ac.cr
- 3 Profesor e investigador de la Escuela de Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: nvaquerano@itcr.ac.cr
- 4 Estudiante carrera de Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: alexiaqui.10@gmail.com



Palabras clave

Potencial metanogénico; codornaza; codigestión.

Resumen

El biogás ha ido ganando importancia como un combustible CO_2 -neutral por sus bajas emisiones de CO_2 . El biogás puede usarse para el calentamiento y/o la producción de electricidad o como aditivo para mejorar el combustible para los vehículos. Este artículo detalla la estimación del potencial metanogénico de la codornaza tomando en consideración las variables de dilución, adición de nutrientes y codigestión, con base en la medición del biogás por el método de desplazamiento de líquido y el empleo de la codornaza en codigestión con desecho de banano.

Los resultados obtenidos al diluir la muestra indican que de las tres diluciones realizadas para el sustrato de codornaza, la correspondiente al 40% presentó el mayor volumen de producción de metano. Las diluciones experimentales garantizan que el potencial de biogás del sustrato no sea subestimado debido a la sobrecarga o por la inhibición del potencial. Al efectuar la adición de nutrientes para la producción de biogás, estos ayudaron a obtener una mayor cantidad de metano acumulado. Sin embargo, esta variable demostró no ser fundamental para alcanzar un buen rendimiento en la producción de metano con el sustrato experimentado. Además, la codornaza mostró ser muy buen sustrato para la codigestión con desecho de banano.

Keywords

Methanogenic potential; codornaza; codigestion.

Abstract

The biogas has gain relevance over the years as a CO_2 neutral fuel option due to its low CO_2 emissions. It is used for heating and energy generation or could also be used as an additive for car fuel. This article details the estimate of the methanogenic potential of the codornaza taking into account dilution, addition of nutrients and codigestion variables; based on the measurement of the biogas by the water displacement methodology and the use of codornaza in codigestion with banana waste.

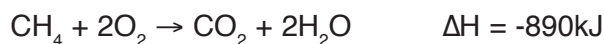
The results gathered after diluting the samples showed that, among the three diluted samples from the codornaza substrate, the dilution at 40% generated the highest production of methane.

Experimental dilutions guarantee that the biogas potential from the substrate won't be underestimated due to overload or inhibition from the potential. By adding nutrients to the biogas production process, they helped to obtain a higher volume of methane gas. However, this variable was proven not to be fundamental to obtain a good performance in the methane production with the substrate used. Moreover, the codornaza proved to be a good substrate for the codigestion of banana waste.

Introducción

El biogás ha ido ganando importancia como un combustible CO_2 -neutral por sus bajas emisiones de CO_2 . El biogás puede utilizarse para el calentamiento y/o la producción de electricidad o como aditivo para mejorar el combustible para vehículos (Angelidaki et al., 2007).

El biogás es un gas más liviano que el aire (su densidad es de 0,94 kg/m³), tiene una temperatura de inflamación de alrededor de 700°C. Está compuesto por metano (CH₄) (50%-70%), dióxido de carbono (CO₂) (30%-50%), ácido sulfhídrico (H₂S) (0,1%-1%) y nitrógeno (N₂) (0,5%-3%). Su calidad está directamente asociada a la cantidad de metano que contenga, ya que cuanto mayor sea el porcentaje de este gas, mayor poder calorífico tendrá (López, 2013). Por tanto, la molécula de metano es la que reviste principal interés debido a su alto poder calórico ante la oxidación:



Las bacterias metanogénicas, encargadas de la producción de metano, pertenecen al dominio Archaea. Las arqueobacterias metanogénicas se distinguen de otros microorganismos porque producen metano como producto metabólico principal (Martínez, 2004). Existen varios grupos de bacterias metanogénicas que se diferencian entre sí por su morfología; se pueden encontrar bacilos y cocos filamentosos, agrupados en cadenas, diplococos, tetradas y racimos. Pueden desarrollarse a temperaturas que van desde 38 °C hasta 75°C y su afinidad al Gram es variable. Su metabolismo se caracteriza por integrar las vías biosintéticas y bioenergéticas para la producción de ATP. En condiciones de ausencia de hidrógeno, oxidan compuestos para la obtención de electrones (Acuña, Ángel, Borray, Corrales & Sánchez, 2008).

Estos microorganismos metanogénicos se encuentran en ambientes anaerobios, como el sedimento de las aguas de los ríos, lagos y lagunas, principalmente, y en el tracto gastrointestinal de algunos animales. El intervalo de valores de pH en el que se desarrollan es de 6.5 a 7.8 y el intervalo de temperatura es de 30-40 °C para los microorganismos mesofílicos y de 45-65 °C para los termofílicos (Martínez Gutiérrez, 2004).

Varios autores han establecido que la degradación microbiana relacionada con la digestión anaerobia puede acelerarse (en tiempo o en aumento de tasas de producción de biogás) si se suministran las condiciones favorables. Entre dichas condiciones se pueden mencionar la adecuada presencia de nutrientes, en particular la adición de metales como micronutrientes o de sales como el cloruro férrico, pH y humedad apropiados (Márquez, Sánchez, Alfaro & Cortés, 2009). También es relevante la medición de las variables de operación para controlar y proveer un ambiente adecuado en un proceso de fermentación o digestión (Salazar-Rojas & Porras-Acosta, 2014).

Entre los sustratos estudiados para la producción de biogás se encuentran desde residuos de alimentos hasta boñiga de animales vacunos, porcinos y aves domésticas. Un tipo de ave doméstica que ha ido incursionando en el mercado nacional es la codorniz, cuya clasificación taxonómica la define como un ave terrestre perteneciente al grupo de las gallináceas, familia Phasianoidea y especie *Coturnix coturnix*.

Las codornaza es el resultado del aprovechamiento de los excrementos de las codornices para utilizarlos en procesos productivos de diferente tipo, por ejemplo, como abono de cultivos (composta) y como alimento de animales (rumiantes, cerdos y peces) mezclado con melaza y concentrados.

Una prueba de actividad metanogénica específica (AME) da conocer la capacidad de los microorganismos metanogénicos, que se encuentran en la biomasa para producir metano y CO₂ a partir de ácidos grasos volátiles (Méndez, et al, 2007).

La AME se expresa generalmente en gramos de DQO por gramos de sólidos volátiles por día (g DQO_{CH₄}/g SV.d) y se calcula según (Cimochowicz, Rybicka, & Rybicki, 2013) de la siguiente manera:

$$AME = \frac{24}{SV \times V_R \times f_1} \times \frac{d(V_{CH_4})}{dt}$$

Donde:

SV = Masa de los sólidos volátiles en la muestra por litro de agua en el reactor (g/l).

VR = Volumen líquido efectivo en el reactor (l).

f1 = Factor de conversión para gramos de DQO removida por unidad de volumen de metano (ml CH₄/g DQO).

d (VCH₄)/dt = tasa máxima de producción de metano (ml CH₄/d).

La tasa máxima de producción de metano se obtiene a partir de la pendiente máxima de la curva de producción del gas durante el período de incubación de la muestra y que corresponda al consumo mínimo de 50 % del sustrato añadido (Aquino et al., 2007, citado por Flores, (2014)).

El objetivo general de esta investigación fue determinar la producción de metano a partir de codornaza, considerando las variables de dilución, adición de nutrientes y codigestión.

Materiales y método

Sustrato e inóculo

El sustrato utilizado es codornaza y desecho de banano (en una proporción de 90% cáscara y 10% fruto), que se caracterizaron de acuerdo con la metodología que se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Caracterización de la codornaza y el desecho de banano.

Muestras	Parámetros	Metodología
Codornaza y Desecho de banano	Humedad Fósforo Nitrógeno Sólidos volátiles pH	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.</i> 22 ed. 2012 APHA-AWWA-WEF; y los métodos del ASTM-11 (<i>Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists.</i> 15 ed. D 2974. <i>Standard Test Methods for Moisture, Ash and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.</i> Utilización de pH metro marca Hanna Instruments.

Montaje del experimento

Los digestores anaeróbicos del experimento se elaboraron a partir de kitsatos de vidrio con volúmenes de 500 ml. Los kitsatos se sellaron con tapón de hule y se aseguraron con parafina. Los digestores anaeróbicos fueron operados en un sistema por lote y a una temperatura controlada en baño maría de (33±1) °C. El biogás formado se midió mediante el método de desplazamiento de líquido, utilizado por algunos autores (López, 2013), el biogás generado se pasó por trampas de gas, una contenía una disolución de NaOH y fenolftaleína y la otra agua y anaranjado de metilo. Las trampas se conectaron entre sí con mangueras y para una mayor seguridad y evitar presiones negativas, se utilizan prensas. Una foto del montaje experimental se muestra en la figura 1.



Figura 1. Diagrama del montaje experimental.

Diseño experimental

Este estudio se realizó por duplicado en tres variables: dilución del sustrato, adición de micronutrientes y codigestión, cada una evaluada en tiempos diferentes. Se efectuaron mediciones del desplazamiento del gas tres veces al día durante 15 días, ya que se observó una detención de la producción entre los días 12-14, además, se agitaron las muestras durante un minuto antes de hacer las mediciones de desplazamiento.

Chernicharo (2007) menciona que las bacterias metanogénicas pueden conseguir estabilidad para la formación de metano en un rango más amplio (6,0-8,0 unidades); deben evitarse los valores menores a 6,0 y superiores a 8,3 para prevenir la completa inhibición, sin embargo, no fue necesario realizar un ajuste de pH por el grado de basicidad misma de la codornaza.

Prueba de dilución de sustrato: Se colocaron en los biorreactores diluciones de 10%, 25% y 40% de la codornaza. En las tres diluciones se adicionaron micronutrientes.

Prueba de micronutrientes: Se realizaron pruebas de producción de biogás con y sin micronutrientes para la dilución de 25% de la codornaza. Se prepararon disoluciones madres de NH_4Cl , NaCl , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, agregando en volúmenes de 10ml/L, 2ml/L, 1ml/L, 1ml/L y 1ml/L, respectivamente, según la metodología descrita por Angelidaki et al. (2009).

Prueba de codigestión: Se prepararon sustratos con 50% de codornaza/desecho de banano y se llevaron a diluciones de 25% y 40%; a ambas se les agregaron micronutrientes.

Resultados y discusión

En el cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización del sustrato codornaza.

Efecto de la dilución en la producción de biogás

La cantidad de sustrato que se añade a un biorreactor es uno de los parámetros operacionales que se debe vigilar en la producción de biogás, ya que en la mayoría de los casos se requiere dilución. Las diluciones experimentales garantizan que el potencial de biogás del sustrato no sea subestimado debido a la sobrecarga o la inhibición del potencial (Angelidaki et al., 2009). Para la realización de esta prueba se obtuvo que de las tres diluciones para el sustrato de la codornaza, la dilución del 40% presentó el mayor volumen de producción de metano, seguido por la del 25%, mientras que la cantidad más pequeña correspondió a la del 10% (figura 2).

Cuadro 2. Composición química del sustrato utilizado en las pruebas metanogénicas.

Parámetro	Dato
Humedad (% m/m)	22,4 ± 1,8
SSV (% m/m) ¹	82 ± 3
DQO (mg/L) ²	17984 ± 2657
Fósforo total (% m/m)	0,082 ± 0,001
Nitrógeno total (% m/m)	0,0345 ± 0,0004
pH	8,0 ± 0,5

Nota: ¹SSV: sólidos suspendidos volátiles; ²DQO: Demanda química de oxígeno.

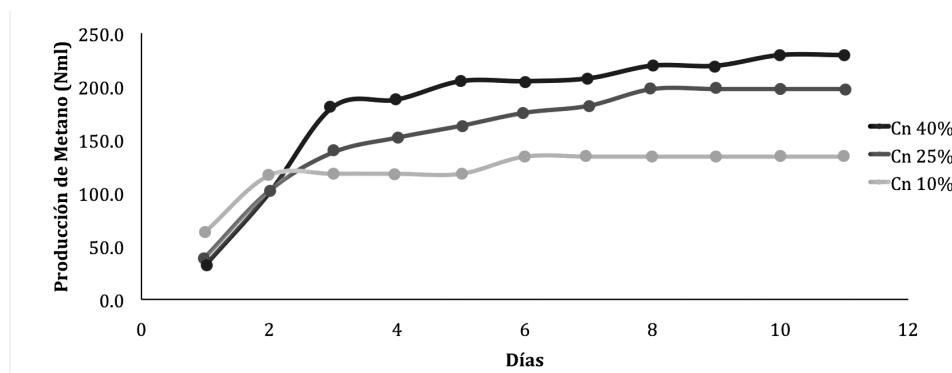


Figura 2. Volumen acumulado de metano según razón de sustrato al 15%, 25% y 50%.

Para el cálculo de AME (cuadro 3), se obtuvo igualmente un mayor valor para la dilución del 40% y un valor bastante similar para las diluciones del 25% y 10%.

Cuadro 3. Producción de metano generado por la codornaza en diferentes concentraciones.

Sustrato	L CH ₄ /g SV
40%	0,117
25%	0,089
10%	0,090

Efecto de la adición de nutrientes para la producción de biogás

Debido a la falta de algunos nutrientes en ciertos sustratos, es necesario agregar nutrientes y micronutrientes para lograr la función óptima de los microorganismos anaerobios (Lindorfer, Pérez López, Resch, Braun & Kirchmayr, 2007). En el caso de la codornaza, como se muestra en la figura 3, las adiciones de nutrientes no presentaron mayor impacto en la producción diaria de metano. Sin embargo, a la hora del cálculo de AME se obtuvo un valor un poco más alto para el sustrato con nutriente (cuadro 4).

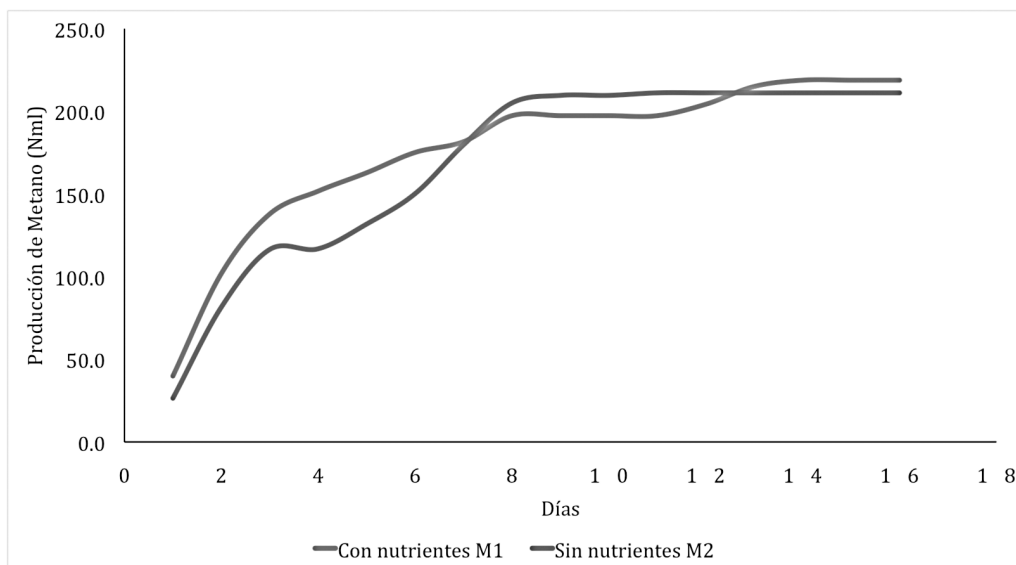


Figura 3. Volumen acumulado de sustrato con nutrientes (M1) y sin nutrientes (M2).

Cuadro 4. Producción de metano generado por la codornaza con y sin adición de nutrientes.

Sustrato	L CH ₄ / g SV
Con nutrientes	0,0897
Sin nutrientes	0,0797

Prueba con codigestión

Para el sustrato utilizado en la codigestión con la codornaza se obtuvieron los resultados que se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Parámetros químicos del desecho de banano utilizado en la codigestión con codornaza.

Parámetro	% (m/m)
pH	5,3 ± 0,1
SV	98 ± 1
Humedad	37,51 ± 1,93
Fósforo	0,0237 ± 0,0001
Nitrógeno	0,0156 ± 0,0004

Como puede observarse, el contenido de nitrógeno y el pH del desecho de banano son bastante bajos, sin embargo, al realizar la codigestión con la codornaza (cuadro 1), ambos parámetros fueron estabilizados para obtener condiciones requeridas para la digestión.

Se obtuvo una mayor producción de metano con la dilución al 40% (figura 4), sin embargo, su AME fue ligeramente menor a la de la del 25% (cuadro 6).

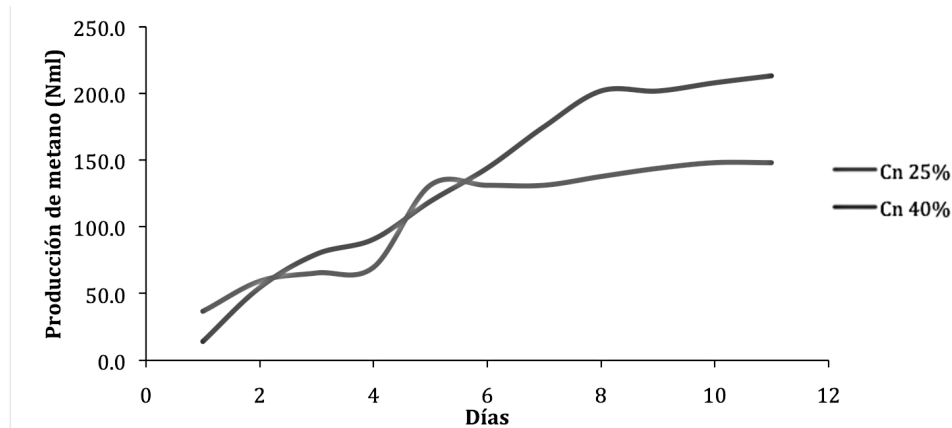


Figura 4. Volumen acumulado en la codigestión con diluciones del 25% y el 40%.

Comparando los valores de AME para la codornaza sola (cuadro 3) y utilizando la codigestión (codornaza/desecho de banano) (cuadro 6), se puede apreciar una disminución en los valores por el efecto de la codigestión. Sin embargo, se observa un efecto positivo ya que se logra la digestión del desecho de banano, que no solo contiene más celulosa y, por lo tanto, es más difícil de descomponer que la codornaza, sino que también presenta el problema de tener un pH bajo, lo cual dificultaría su digestión por sí solo.

Cuadro 6. Producción de metano generado por la codornaza en diferentes concentraciones.

Sustrato	L CH ₄ /g SV
25%	0,0807
40%	0,0746

Conclusiones

- Se determinó que, para la codornaza, la dilución del 40% es la que genera mayor producción de metano.
- El dato mayor de AME obtenido para la codornaza fue de 0,117 L CH₄/g SV.
- La variable de nutrientes demostró no ser fundamental para obtener un buen rendimiento en la producción de metano con el sustrato experimentado.
- La codornaza resultó ser muy buen sustrato para la codigestión con el desecho de banano, debido a su aporte en nitrógeno y neutralización del pH.

Recomendaciones

Se recomienda probar la codornaza en codigestión con otros desechos que, al tratarse individualmente, presenten el problema de acidificación del medio.

Referencias

- Acuña, P., Ángel, L., Borray, E., Corrales, L. & Sánchez, L. (2008). Aislamiento e identificación de microorganismos del género *Methanococcus* y *Methanobacterium* de cuatro fuentes de Bogotá D.C. *NOVA-Ciencias Biomédicas*, 6(10), 156-161.
- Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J.L., Guwy, A. J. & Lier, J.B. Van. (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science & Technology - WST*, 59(5), 927-934. doi:10.2166/wst.2009.040
- Chernicharo, C.A. (2007). Principios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 5: Reatores anaeróbios (p. 245). Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidad Federal de Minas Gerais.
- Flores, D. (2014). Potencial metanogénico de residuos lignocelulósicos específicos disponibles en las fincas agrícolas costarricenses para cogeneración. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Hilbert, A. (s.f.). *Manual para la producción de biogás*. Castelar, Argentina: Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Lindorfer, H., Pérez López, C., Resch, C., Braun, R. & Kirchmayr, R. (2007). The impact of increasing energy crop addition on process performance and residual methane potential in anaerobic digestion. *Water Science & Technology*, 56(10), 55-63. doi:10.2166/wst.2007.728
- López, G. (2013). Método no convencional de medición de gases en la digestión anaerobia. Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.
- Márquez, L., Sánchez, J., Alfaro, R. & Cortés, R. (2009). Inclusión de un inóculo para promover la metanización de residuos sólidos urbanos. *Biológicas*, 36(11), 29-36.
- Martínez Gutiérrez, E. (2004). *Estudio molecular de las poblaciones de un lodo anaerobio en condiciones desnitrificantes y metanogénicas*. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Méndez, R., Vidal, G., Lorber, K., & Márquez, F. (2007). *Producción Limpia en la Industria de Curtiembre*. (U. de S. de Compostela, Ed.). Santiago de Compostela, España.
- Salazar-Rojas, T. & Porras-Acosta M. (2014). *Diseño de biorreactor a partir de un autoclave en desuso*. *Tecnología en Marcha*, ISSN-0379-3982, ISSN-E 22153241.