

Estudio de las características físico-químicas de residuos orgánicos para su uso potencial en la producción de biogás

MOJICA, Cuitláhuac*†, VIDAL, Eleazar, RUEDA, Belzabet y ACOSTA, Dulce

Recibido Enero 08, 2016; Aceptado Abril 30, 2016

Resumen

En el presente trabajo se estudiaron las características físico-químicas de residuos orgánicos generados en el Municipio de Ciudad Valles, S.L.P. El objetivo fue caracterizar los residuos del rastro municipal (mezcla de sangre, contenido rumial y trozos de vísceras), de una granja avícola (gallinaza, plumas, vísceras y aserrín) y de una granja porcícola (estiércol) para determinar su uso potencial en la producción de biogás. En cada residuo, se estudiaron cuatro muestras frescas de 50 g. Se les realizaron pruebas bromatológicas (humedad, cenizas, grasas y nitrógeno total) a través de métodos de análisis básicos de laboratorio para identificar su conformación. También se calcularon los porcentajes de sólidos totales, sólidos volátiles, carbono orgánico, la relación C/N y los porcentajes de proteína, grasa y carbohidratos. Este trabajo permitió evaluar la potencialidad de los residuos para la producción de biogás y metano. Los resultados mostraron que los residuos de la granja porcícola tienen una producción potencial de biogás y de metano de 828 y 437 m³/tonelada de residuos, respectivamente; los de la granja avícola de 804 y 411 m³/tonelada de residuos respectivamente y los del rastro de 795 y 402 m³/ ton. de residuos, respectivamente.

Residuos orgánicos, bioenergía, digestión anaeróbica, biogás, metano

Abstract

In this paper were studied the physical and chemical characteristics of organic waste generated in the municipality of Ciudad Valles, S.L.P. The objective was to characterize waste from municipal slaughterhouse (mixed blood, ruminal content and bits of viscera) of a poultry farm (gallinaza, feathers, offal and sawdust) and a pig farm (manure) to determine its potential use in the biogas production. In each residue, four fresh samples of 50 g were studied. Bromatological tests were performed (moisture, ash, fat and total nitrogen) through basic methods of laboratory analysis to identify its conformation. As well were calculated the percentages of total solids, volatile solids, organic carbon, the C / N and the percentages of protein, fat and carbohydrates. This work allowed us to evaluate the potential of waste for biogas production and methane. The results showed that the pig farm waste have a potential production biogas and methane of 828 and 437 m³/ ton of waste, respectively; the poultry farm of 804 and 411 m³ / ton of waste, respectively and the municipal slaughterhouse of 795 and 402 m³ / ton. of waste, respectively.

Organic waste, bio-energy, anaerobic digestion, biogas, methane

Citación: MOJICA, Cuitláhuac, VIDAL, Eleazar, RUEDA, Belzabet y ACOSTA, Dulce. Estudio de las características físico-químicas de residuos orgánicos para su uso potencial en la producción de biogás. Revista de Energía Química y Física 2016, 3-6: 15-22.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: cuitlahuac.mojica@tecvallles.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

Uno de los mayores desafíos que actualmente tiene la humanidad, es el cambio climático. En parte, esto se debe al modelo energético actual, donde el hombre carga a la atmósfera cantidades elevadas de dióxido de carbono (CO₂) a un ritmo tal que la naturaleza es incapaz de reciclar. Este CO₂ se debe básicamente al cambio en el uso del suelo, así como a las emisiones generadas por el uso de los combustibles fósiles.

Según estudios de la FAO, las actividades agropecuarias tienen profundos efectos en el medio ambiente en conjunto. Son la principal fuente de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas. También son la mayor fuente antropogénica de gases responsables del efecto invernadero, metano y óxido nitroso, y contribuyen en gran medida a otros tipos de contaminación del aire y del agua. La actividad ganadera representa aproximadamente el 40 por ciento de las emisiones globales de amoníaco.

El amoníaco es un acidificante aún mayor que el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno. Es una de las causas principales de la lluvia ácida que daña los árboles, acidifica los suelos, los lagos y los ríos y perjudica la biodiversidad. Las proyecciones pecuarias suponen un aumento del 60 por ciento en las emisiones de amoníaco procedentes de excrementos de animales¹.

Lo anterior refleja una problemática que es prioritaria atender y ante esto surge la necesidad de estudiar los residuos orgánicos del sector agropecuario y su potencialidad para revalorizarlos en la generación biogás, como una fuente de energías más limpia.

En años recientes, el biogás, ha despertado un gran interés por tratarse de una tecnología de fácil implementación, sobre todo en el sector rural. Ante su potencial de aprovechamiento energético como biocombustible en México, la Secretaría de Energía está desarrollando programas nacionales para el aprovechamiento de residuos sólidos y de excretas del sector pecuario en proyectos de generación de energía.

Existen materiales orgánicos que son potencialmente utilizables para la producción de biogás. Los residuos de las actividades agropecuarias (estiércoles y residuos de cosecha) y su manejo adecuado pueden apoyar a la producción y transformación de esta biomasa en fuentes alternas de energía. La tecnología de la digestión anaeróbica es una opción importante; implica una serie de reacciones bioquímicas en la que los residuos orgánicos son degradados o consumidos por los microorganismos.

La acción de éstos produce el calor que se requiere para mantener el proceso en su temperatura ideal (35 °C). En el proceso también se generan efluentes líquidos y sólidos que pueden ser utilizados como fertilizantes orgánicos².

Es así como, la digestión anaeróbica, es un método de tratamiento de residuos, que permite disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, al estabilizarla y la producción también de biofertilizantes. Así mismo, contribuye a mejorar las condiciones sanitarias mediante el control de la contaminación.

¹ FAO

² REMBIO, 2011. Cuaderno Temático No. 4. La Bioenergía en México. Situación actual y perspectivas.

En la digestión anaeróbica, las características bioquímicas de los residuos orgánicos deben favorecer el desarrollo y la actividad del proceso metanogénico, en este sentido es necesario que se encuentren presentes elementos químicos como el carbono, nitrógeno y sales minerales; pues dependiendo de su composición bioquímica, será la dinámica para la producción del biogás.

Los carbohidratos y las proteínas son los nutrientes indispensables para el crecimiento, desarrollo y actividad de las bacterias anaeróbicas. El carbono contenido en el estiércol es el elemento que las bacterias convierten en metano (CH₄). El nitrógeno es usado para la multiplicación bacteriana y como catalizador en el proceso de producción del biogás. Si su nivel es alto el proceso se retarda por el exceso de amoníaco y la alcalinización de la fase líquida, pudiendo detenerse el proceso. El contenido de carbono en el estiércol de bovino es alto, así como el de nitrógeno en el estiércol de cerdo. De aquí la posibilidad y ventaja de alimentar el biodigestor con mezcla de excretas, lo que permite balancear su contenido de nutrientes e incrementar así la eficiencia del proceso de producción de biogás³.

Considerando el contexto anterior, el presente proyecto se enfocó al estudio de las características físico-químicas de los residuos orgánicos de una granja avícola, de una granja porcícola y del rastro municipal de Ciudad Valles, S.L.P., para su uso potencial en la producción de biogás y contribuir de esta manera, a la gestión integral de los residuos en el municipio, a la reducción del impacto ambiental derivado de la disposición final de los residuos en superficies a cielo abierto y por consecuencia a la mitigación de los gases de efecto invernadero.

Así mismo, para revalorizar los residuos y se obtengan beneficios económicos.

Metodología

La presente investigación se desarrolló en el Laboratorio de Química del Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. El Municipio de Ciudad Valles, se localiza al Oriente del estado de San Luis Potosí, en la región de la Huasteca. Se encuentra a una altura media de 200 msnm. Su clima es caluroso húmedo; en tiempos de primavera y verano se llegan a presentar temperaturas máximas de hasta 56 °C y en invierno se tienen temperaturas mínimas de 6 a 8 °C con un frío húmedo⁴.

Para la investigación se recolectaron cuatro muestras frescas de cada uno de los siguientes residuos orgánicos: de una granja avícola (gallinaza, plumas, vísceras y aserrín), de una granja porcícola (estiércol) y del rastro municipal de Ciudad Valles (sangre, contenido rumial y trozos de vísceras).

A las muestras se les realizaron pruebas que comprendieron métodos de análisis de laboratorio básicos para identificar la conformación de los residuos como fueron la humedad, cenizas, grasas y nitrógeno total.

Así mismo, se calcularon los porcentajes de sólidos totales, de sólidos volátiles, de carbono orgánico, la relación C/N y los porcentajes de proteína y carbohidratos.

De cada mezcla de residuos se tomaron 50 g., en frascos de humedad para realizar los análisis correspondientes, mismos que se describen a continuación:

³ Persson et al., 1979.

⁴ Wikipedia

1) Humedad: Se introdujeron las muestras en una estufa de secado a 105 °C, hasta obtener peso constante entre dos pesadas consecutivas. Para calcular el porcentaje de humedad se aplicó la siguiente fórmula⁵:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(B-A)-(C-A)}{B-A} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

A= Peso del frasco a peso constante (g)

B= Peso del frasco a peso constante con muestra húmeda (g)

C= Peso del frasco con muestra seca (g)

2) Sólidos totales: Se obtuvieron por diferencia, respecto al porcentaje de humedad. Se determinó el contenido de cenizas y de sólidos volátiles⁶.

Cenizas: Se tomaron dos gramos de los residuos a los que se les determinó la humedad y se calcularon los porcentajes de cenizas. Este porcentaje se obtuvo por diferencia de pesos, usando la siguiente fórmula⁷:

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{cenizas}) - (\text{peso del crisol})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (2)$$

Sólidos volátiles: Una vez determinado el porcentaje de cenizas, se calculó el porcentaje de sólidos volátiles por diferencia.⁸

Grasas: Se realizaron las extracciones de cada uno de los residuos. Se hizo la determinación de extracto etéreo por el método Soxhlet. Se usó la siguiente fórmula⁹:

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{P-p}{M} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

P= Masa del matraz con grasa (g)

p= Masa del matraz sin grasa (g)

M= Masa de la muestra (g)

Nitrógeno total: Se determinó por el método Kjeldahl, basado en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado. Debido a las reacciones químicas se libera amoníaco, que es recuperado por destilación y recibiéndolo en ácido sulfúrico. Al reaccionar se forma sulfato de aminio, el exceso de ácido es titulado (valorado), con hidróxido de sodio usando como indicador rojo de metilo.¹⁰

Relación C/N: Se calculó el porcentaje de Carbono Orgánico a partir de los porcentajes de materia orgánica (sólidos volátiles). Se calcularon las relaciones de C/N para cada una de las muestras, usando las fórmulas siguientes¹¹:

$$\% \text{ de Carbono orgánico} = \frac{\% \text{ de materia orgánica}}{1.724} \quad (4)$$

Donde:

1.724= factor de conversión

$$C/N = \frac{\% \text{ de Carbono Orgánico}}{\% \text{ de Nitrógeno total}}$$

Donde C/N= Relación Carbono Nitrógeno

Resultados

En el presente estudio se determinaron las características físico-químicas de los diferentes residuos orgánicos, los resultados se muestran en las tablas siguientes:

⁵ Skoog, Douglas A. West, Donald. M. Introducción a la Química Analítica. Editorial Reverte. Barcelona. 2002.

⁶ Skoog, West, et al.2002

⁷ Skoog, West, et al.2002

⁸ Skoog, West, et al.2002

⁹ Skoog, West, ibid.2002

¹⁰ FAO, 1986.

¹¹ Skoog, West, ibid.2002

Residuos	Humedad (%)	Sólidos totales (%)
Estiércol cerdo	64.68	35.32
Granja avícola	68.58	31.42
Rastro municipal	83.18	16.82

Tabla 1 Porcentajes de humedad y sólidos totales en los tres residuos estudiados. *Fuente Elaboración Propia*

En el análisis químico proximal realizado a los residuos estudiados, se obtuvo que éstos estuvieron compuestos en su mayor parte de humedad y una pequeña parte correspondió a los sólidos totales (Tabla 1).

En el estiércol de cerdo, se obtuvo un 35.32 % de sólidos totales, dentro del rango reportado por Varnero (2011) que es de 15 a 49 %¹². En los residuos de la granja avícola, se obtuvo un 31.42 % de sólidos totales, también dentro del rango reportado por Varnero (2011) que es del 26 al 92 %. Y en el caso de los residuos del rastro municipal, se obtuvo un 16.82% de sólidos totales, ligeramente por encima del valor reportado por Falla Cabrera (1995) para contenido rumial, que es del 15%¹³

Residuos	Cenizas (%)	Sólidos Volátiles (%)
Estiércol cerdo	20.32	79.68
Granja avícola	21.26	78.74
Rastro municipal	19.28	80.72

Tabla 2 Porcentajes de cenizas y sólidos volátiles en base seca de los tres residuos estudiados. *Fuente Elaboración Propia*

¹² Varnero, M.M.T., 2011. Manual de Biogás

¹³ Falla Cabrera, L.H. 1995.

Del porcentaje de sólidos totales mostrados en la Tabla 1, éstos estuvieron conformados en mayor cantidad de sólidos volátiles o materia orgánica y aproximadamente una quinta parte de Cenizas (Tabla 2). En el caso de los residuos porcinos, el porcentaje de cenizas obtenido en este estudio, es inferior al reportado por Varnero (2011), quien establece un 23.67% y es superior en los residuos de origen avícola donde reportan un 17.23%. En el caso de los residuos del rastro municipal, Falla Cabrera (1995), reporta un 27.06% de cenizas en contenido rumial, valor superior al 19.28 % obtenido en el presente estudio.

Residuos	Proteína (%)	Grasa (%)	Carbohidratos (%)
Estiércol cerdo	8.75	8.43	82.82
Granja avícola	10.38	4.36	85.26
Rastro municipal	12.06	2.55	85.34

Tabla 3 Porcentajes de proteína, grasa y carbohidratos en base seca de los tres residuos estudiados. *Fuente Elaboración Propia*

A su vez, los porcentajes de sólidos volátiles mostrados en la Tabla 2, estuvieron compuestos en su mayor parte de carbohidratos y en menores proporciones de proteína y grasa (Tabla 3). Los porcentajes de carbohidratos fueron superiores a los obtenidos por Varnero (2011), quien reporta un 32.39% en residuos porcinos y un 50.55% en residuos avícolas. El porcentaje de proteína de los residuos porcinos, fue inferior al 10.95 % reportado por Varnero (2011); en los residuos avícolas fue superior, ya que estos autores reportaron un 9.56% y en el caso de los residuos del rastro municipal, el resultado del estudio fue superior, comparado con los datos de Falla Cabrera (1995), quien reporta un 9.60% de proteína en contenido rumial.

De la misma manera, los porcentajes de grasa obtenidos en la presente investigación, y comparados con datos de Varnero (2011), son inferiores en el caso de los residuos porcinos donde se establece un 11.50%, y superiores en el caso de residuos avícolas donde reportan un 2.84%; y en el caso de los residuos del rastro municipal, el resultado del estudio es superior, comparado con datos de Hómez González (s.f.), quien reporta un 2 % en contenido rumial¹⁴.

Residuos	Nitrógeno Total (%)	Relación C/N
Estiércol cerdo	1.40	14.03
Granja avícola	1.66	20.88
Rastro municipal	1.93	22.73

Tabla 4 Porcentajes de nitrógeno total y relación Carbono/Nitrógeno en los tres residuos estudiados. Fuente Elaboración Propia

Adicionalmente, en la determinación de la relación Carbono/Nitrógeno de los residuos estudiados (Tabla 4), Varnero (2011), reporta que la relación óptima para que se lleve a cabo el proceso metanogénico está en el rango de 20:1 a 30:1.

En el presente estudio, la relación C/N determinada en el estiércol de cerdo (14.03), está por debajo de la relación óptima y la determinada en los residuos de la granja avícola (20.88) y del rastro municipal (22.73), está dentro del valor óptimo.

Residuos	m ³ /ton Biogás	m ³ /ton CH ₄	% de metano en el biogás
Estiércol cerdo	828	437	53
Granja Avícola	804	411	51
Rastro Municipal	795	402	51

Tabla 5 Producción estimada de biogás y metano en base seca de los tres residuos estudiados. Fuente Elaboración Propia

Con base en la producción reportada por Varnero 2011; por cada 1000 g. de proteína, carbohidratos y grasas se esperan 0.98, 0.75 y 1.44 m³ de biogás, así como 0.49, 0.37 y 1.04 m³ de metano (CH₄) respectivamente.

En la granja porcícola se determinó un 8.75 % de proteína, por lo tanto por cada tonelada de estiércol de cerdo se espera una producción de biogás de 86 m³. Además se determinaron 8.43 % de grasas y 82.82 % de carbohidratos, de los que se estima una producción de 121 y 621 m³ de biogás respectivamente. Por lo tanto, por cada tonelada de estiércol de cerdo se estima una producción total de 828 m³ de biogás y 437 m³ de metano, asumiendo que el total de la materia orgánica seca se degradó.

En los residuos de la granja avícola se determinó un 10.38 % de proteína, por lo tanto por cada tonelada de estos residuos se espera 102 m³ de producción de biogás. Además se determinaron 4.36 % de grasas y 85.26 % de carbohidratos, de los que se espera una producción de 63 y 639 m³ de biogás respectivamente. Por lo tanto, por cada tonelada de residuos de la granja avícola se estima una producción total de 804 m³ de biogás y 411 m³ de metano, asumiendo que el total de la materia orgánica seca se degradó.

¹⁴ Hómez González, M. s.f.

En los residuos del rastro municipal se determinó un 12.06 % de proteína, por lo tanto por cada tonelada de estos residuos se espera 118 m^3 de producción de biogás.

Además se determinaron 2.55 % de grasas y 85.34 % de carbohidratos, de los que se espera una producción de 37 y 640 m^3 de biogás respectivamente. Por lo tanto, por cada tonelada de residuos del rastro municipal se estima una producción total de 795 m^3 de biogás y 402 m^3 de metano, asumiendo que el total de la materia orgánica seca se degradó.

Anexos



Figura 1 Determinación de nitrógeno total de residuos orgánicos. *Fuente Elaboración Propia*



Figura 2 Determinación de diversas pruebas bromatológicas. *Fuente Elaboración Propia*

Agradecimiento

Se agradece a los Productores que colaboraron con la aportación de los residuos para la realización de la presente investigación, así como al Rastro Municipal y al Laboratorio de Química del Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, por las facilidades brindadas para el análisis físico químico de los diferentes materiales orgánicos.

Conclusiones

La relación C/N de los residuos de la granja porcícola (14.03), está ligeramente por debajo del promedio 16.10, reportado por Varnero, 2011.

Se recomienda mezclar este residuo con material vegetal con altos contenidos de carbono, como pudieran ser las pajas y/o el aserrín, a fin de mejorar la relación C/N, entre 20:1 y 30:1, reportada por Varnero, 2011 como la relación óptima para la producción e biogás.

Respecto a los residuos del rastro y de la granja avícola (20.88 y 22.73, respectivamente), están dentro del rango óptimo de la relación C/N.

El contenido de metano en el biogás obtenido de los tres residuos estudiados osciló entre el 51 y 53 %, valores superiores al reportado por Varnero, 2011, para asegurar la inflamabilidad del gas (mayor a 45%).

Referencias

Falla Cabrera, L.H. 1995. Desechos de matadero como alimento animal en Colombia. Santa Fé de Bogotá Colombia. Folleto. Recuperado de:
<http://www.fao.org/livestock/AGAP/FRG/APH134/cap7.htm>

FAO, 1986. Food and Nutrition Paper 14/7 Food analysis: general techniques, additives, contaminants, and composition Roma. Pág. 221
 FAO, 2002. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Informe resumido. Perspectivas para el medio ambiente Agricultura y medio ambiente. Recuperado de:
<http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s11.htm>

Hómez González, M. s.f.Aspectos Descriptivos Técnicos para el Aprovechamiento de los Residuos Orgánicos Generados en un Matadero Municipal para procesos de Compostaje y Lombricultura. Colombia. Recuperado de:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/peru/colres001.pdf>

Persson, et al. 1979. Agricultural anaerobic digester: design and operation. Bulletin 827, Pennsylvania State University, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, University Park, Penn. November. Ubicado en:
<http://extension.psu.edu/naturalresources/energy/waste-to-energy/resources/biogas/projects/bulletin-827.pdf>

REMBIO, 2011. Cuaderno Temático No. 4. La Bioenergía en México. Situación actual y perspectivas. México.

Varnero, M.M.T., 2011. Manual de biogás. Gobierno de Chile. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Global Environment Facility, Proyecto CHI/00/G32: “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Chile. Recuperado de
<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

Wikipedia. Ciudad Valles. Recuperado el 20 de junio de 2016 de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_Valles