



ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS (EXCRETAS DE GANADO PORCINO) EN EL ESTADO DE TABASCO

E. Ramón García, S.I. Angles Falconi, L. R. Vázquez Magaña, A.C. Tun Pérez.

Depto. Química Bioquímica Ambiental. Instituto Tecnológico de Villahermosa.
A. Postal 424 Villahermosa, Tabasco, México.

Tel: (01993) 1463922 fax: (01993) 3530250 mail: bioleliza_ramgar@hotmail.com,
sergio_falcorp@hotmail.com

RESUMEN

El biogás se obtiene al descomponerse la materia orgánica debido a la acción de cuatro tipos de bacterias, en ausencia de oxígeno: las hidrolíticas, que producen compuestos monocarbonados, las acidogénicas producen ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados; las acetogénicas productoras de Hidrógeno y CO_2 ; las homoacetogénicas, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o monocarbonados en ácido acético; y las metanogénicas, productoras del gas metano, principal componente del biogás. Para el diseño y construcción del equipo piloto propuesto para el desarrollo de esta investigación, se utilizó un contenedor de 20 litros y la cantidad de 10 kg de excretas de ganado porcino; colocando volúmenes estandarizados de inóculo, inmediatamente iniciándose el proceso de fermentación aerobia y posteriormente la anaerobia y en donde se llevaron a cabo las reacciones metabólicas. Obteniéndose de la fermentación anaerobia de 10 kg de excretas de ganado porcino un total de 0.119 m^3 de biogás, haciendo mención que un 60 % es gas metano (0.0714 m^3) y el 40 % restante es ácido Sulfhídrico SH (0.0476 m^3). Durante la realización de este trabajo de investigación, se llegó a la conclusión de que es una alternativa sustentable económicamente y ecológicamente para la reducción de descargas orgánicas (excretas de cerdo) a los ríos y la reducción de gastos energéticos en las granjas porcinas, al obtener un subproducto (biogás - metano), el cual se puede utilizar como biocombustible. Debido a la alta generación de RSM se propone la creación de la planta productora de biogás en Tabasco.

PALABRAS CLAVE: alternativa, energética, excretas, cerdo, biogás



INTRODUCCIÓN

El biogás se obtiene al descomponerse la materia orgánica debido a la acción de cuatro tipos de bacterias, en ausencia de Oxígeno: las hidrolíticas, que producen compuestos monocarbonados, las acidogénicas producen ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados; las acetogénicas productoras de hidrógeno y CO_2 ; las homoacetogénicas, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o monocarbonados en ácido acético; y las metanogénicas, productoras del gas metano, principal componente del biogás, con una proporción de 40 a 70% de metano (CH_4), de 30 a 60 % de CO_2 , de 0 a 1 % de Hidrógeno y de 0 a 3 % de gas sulfhídrico. Casi tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar; lo que provoca, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas. Surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tiene bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable, una de ellas resulta la producción de biogás a partir de la fermentación de materia orgánica. En la india se construyó la primera instalación para producir biogás, en fecha cercana al año 1900; a partir de ese momento se ha incrementado el número de biodigestores, y actualmente funcionan en ese país alrededor de doscientas mil unidades. China es ahora la región que tiene un mayor número de este tipo de instalaciones, aproximadamente 6,7 millones. El bagazo de la caña de azúcar, los residuos de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como materia seca vegetal son fuentes de materia prima para producción de biogás. En este trabajo se discuten las posibilidades que existen de aprovechamiento de desechos de la agricultura y de la crianza de animales que tienen como producto final, o a veces como subproducto un energético. Antes de entrar en los diferentes procesos y sus productos en particular, se requiere entregar una definición de «*desecho*» presentada por el profesor Paul Taiganides de la UNDP/FAO y que, a juicio del autor, es interesante e ilustrativa. Desecho es «un producto fuera de lugar» (Taiganides, 2002). Con esto, quiere decir que, una misma materia puede ser un «*desecho*» o un «*producto útil*» dependiendo de la utilidad que pudiera prestar. Si se analiza el caso de las excretas de ganado porcino: desde el punto de la granja, éstas son «*desechos*» que hay que eliminar, pues atraen insectos y producen malos olores; pero si se las mira desde el punto de vista del campo labrado, inmediato a la granja, estas excretas, ahora con el nombre de «*guano*», son un abono y acondicionador de suelos muy apreciado por el agricultor por lo que pasa a ser un «*producto útil*». Sin embargo, no siempre basta con cambiar el enfoque o punto de vista para transformar un desecho en producto útil y en particular, en un energético. Frecuentemente se requiere de algún proceso industrial o semi-industrial para realizar esta transformación. De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), se ha modificado de manera sustancial la cantidad y composición de los RSM, porque su generación aumentó de 300 gramos por habitante por día, en la década de los



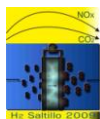
IX Congreso Internacional de la SMH, Saltillo 2009

cincuentas, a más de 860 gramos, en promedio, en el año 2000; asimismo la población se incrementó en el mismo periodo, de 30 millones a más de 97 millones, estimándose para ese año, una generación nacional de 84,200 toneladas diarias. Actualmente, somos poco más de 100 millones de habitantes, quienes generamos diariamente entre 954 y 995 mil toneladas de residuos sólidos municipales. El año 2002 la población aumentó en 1.28 por ciento y en ese mismo período la generación de residuos sólidos se incrementó en 4.37 por ciento dando como resultado que cada vez seamos más mexicanos y que generemos más basura por habitante. En cuatro décadas, la generación de RSM no sólo se incrementó nueve veces, sino también sus características se transformaron de materiales mayoritariamente orgánicos, que por sus características químicas y su origen pueden ser fácilmente reintegrados a la naturaleza, a elementos cuya descomposición es lenta y requieren de procesos físicos, biológicos o químicos complementarios para procesarse. Cabe mencionar que los residuos generan impactos adversos considerables sobre el medio ambiente, principalmente cuando son abandonados en vía pública, cañadas, arroyos y terrenos. Es un hecho que el depósito de los RSM en arroyos y canales o su abandono en la vía pública puede causar la erosión de suelos e impedir la recarga de acuíferos, la proliferación de fauna nociva transmisora de enfermedades, la modificación de las características naturales de los sistemas de arroyos, la disminución de los caudales y durante la época de lluvia provoca la obstrucción de los sistemas de drenaje y alcantarillado, generando inundaciones; ocasionando con ello pérdida de cultivos, bienes materiales y más aún, de vidas humanas, además de contribuir al arrastre de materiales y por lo tanto, a la pérdida gradual de las condiciones de los suelos por la erosión hídrica. En el estado de Tabasco, así como en Yucatán existen numerosas granjas porcinas que producen gran cantidad de desechos orgánicos. Cada cerdo produce en promedio 1.8 Kg de excretas sólidas al día, las cuales son vertidas en los mantos acuíferos, situación que genera un grave daño a estos ecosistemas, por lo que proponemos, la utilización de las excretas como materia prima para producción de biogás (metano) y de ese modo se podría reducir en parte el índice de contaminación en los ecosistemas acuáticos. Para los gobiernos estatales y municipales, debe resultar familiar decir que la recolección, almacenamiento y compactado de residuos sólidos municipales (RSM) tiene un alto costo político, ambiental, económico y de salud pública. Por tanto, reducir parcialmente estos costos apunta en dirección de solucionar un problema creciente, característico de la civilización moderna. Para poder reducir los costos derivados de la generación de basura, es necesario entender, al menos someramente, cuales son los orígenes de tales residuos, su composición, su potencial de reúso y reciclaje, tiempo de degradación, volumen ocupado, el daño por contaminación en suelos, aire, visual y su evolución histórica. La composición de los RSM sabemos que no es homogénea en todo el territorio nacional porque responde a la distribución de hábitos de consumo y poder adquisitivo de la población. Así, la composición en el sur del país (estados como Chiapas y Tabasco) tiene mayores contenidos de residuos de campo, mientras que en las zonas urbanas este mismo producto aparece en menor proporción. Existen en el estado de Tabasco ríos, lagunas y zonas



IX Congreso Internacional de la SMH, Saltillo 2009

pantanosas que están siendo contaminados con descargas que contienen una gran cantidad de RSM (Residuos sólidos Municipales). Dentro de estos residuos se encuentran la materia orgánica, como las excretas de cerdo generadas por las granjas porcícolas, que pueden ser utilizadas para producir biogás (metano). El metano obtenido puede ser usado para cocinar, iluminar y calentar, también puede ser usado como combustible. Por ello es importante conocer los requerimientos técnicos necesarios para llevar a cabo estas operaciones beneficiosas para el medioambiente, así mismo como el estudio de oferta y demanda para conocer el impacto social. Por lo tanto, debemos aprovechar el subproducto (excretas de ganado porcino) través del proceso de metanogénesis, para diseñar y construir un biodigestor que producirá biogás; realizar un estudio de oferta y demanda del subproducto biogás para comercializarlo; fomentar una cultura ecológica usando bioenergía en lugar de combustibles fósiles. (excretas de cerdo-biogás). Las bacterias metanogénicas son bacterias que obtienen su energía a través de la producción metabólica de gas metano, a partir del Dióxido de Carbono y del Hidrógeno. La mayoría son anaerobias, es decir, que viven en ausencia de Oxígeno. Las bacterias de este genero, provocan la descomposición anaerobia de la materia de origen vegetal, por ello se encuentran en las charcas, en el suelo y en el tracto digestivo de las vacas y de otros rumiantes. Se utilizan en las plantas depuradoras de agua, en las últimas etapas del tratamiento del lodo. Son difíciles de estudiar por su intolerancia al Oxígeno y porque tienen ciertas necesidades ambientales especiales. El metano se puede obtener de la descomposición de la materia orgánica debido a la acción de 4 tipos de bacterias: Primero en ausencia de Oxígeno se lleva acabo la hidrólisis del sustrato por bacterias hidrolíticas como la *Clostridium thermocellum*. Después intervienen las bacterias ácidogénicas produciendo ácidos grasos orgánicos, estas bacterias son anaerobias estrictas como las *Bacteroides*, *ruminicola* y *Clostridium*. El tercer tipo de bacterias que intervienen son las bacterias acetogénicas como *Deusulfovibrio*, *Clostridium thermoaceticum*, *Clostridium formicoaceticum*, las cuales transforman el ácido acético en CO_2 y H_2 . Finalmente participan las bacterias metanogénicas las cuáles son anaerobias estrictas, como *Metanobacterium methanosarcina barkeri*. convirtiendo el H_2 y el CO_2 en metano. En la fase metanogénica los microorganismos pueden ser considerados como los mas importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, porque son los responsables de la formación de metano, y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización. Las bacterias metanogénicas son las responsables de la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2 , CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas. Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Arcada, y, morfológicamente, pueden ser bacilos cortos y largos, cocos de varias ordenaciones celulares, células en formas de placas y metanógenos filamentosos, existiendo tanto Gram positivos como Gram negativos (Madigan *et al.*, 1998). Todas las bacterias metanogénicas que se han estudiado poseen varias coenzimas especiales, siendo la



IX Congreso Internacional de la SMH, Saltillo 2009

coenzima M, la que participa en el paso final de la formación de metano (**Madigan *et al.*, 1998**). Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal, dividiéndose en los hidrogenotróficos, que consumen Hidrogeno y fórmico, y los metilotróficos o acetoclásticos, que consumen grupos metilos del acetato, metanol y algunas aminas (**Cairo y Paris, 1998**). Las principales reacciones metanogénicas se muestran en el cuadro No. 1.

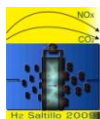
Cuadro 1. Reacciones metanogénicas.

<i>Reacciones hidrogenotróficas</i>	ΔG^0 (KJ)
$4H_2 + H + 2HCO_3^- \longrightarrow \text{Acetato} + 4H_2O$	-104.6
$4H_2 + 4S^0 \longrightarrow 4hS^- + 4H^+$	-112.0
$4H_2 + 2HCO_3^- + H^+ \longrightarrow CH_4 + 3H_2O$	-135.6
$4H_2 + 4S_4^{2-} + H^+ \longrightarrow HS^- + 4H_2O$	-151.9
$4H_2 + 4 \text{ fumarato} \longrightarrow 4 \text{ succinato}$	-344.6
$4H_2 + NO_3^- + 2H^+ \longrightarrow NH_4 + 3H_2O$	-599.6

<i>Interconversión formato-hidrogeno</i>	
$H_2 + 2HCO_3^- \longrightarrow \text{formato} + H_2$	-1.3

<i>Metanogénesis acetoclástica</i>	
$\text{Acetato} + H_2O \longrightarrow HCO_3^- + CH_4$	-31.0

<i>Metanogénesis a partir de otros sustratos</i>	
<i>Fórmico</i>	$4HCOOH \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$
<i>Metanol</i>	$4CH_3OH \longrightarrow 3CH_4 + CO + 2H_2O$



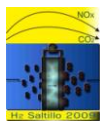
Trimetil-amina	$4(CH_3)_3N + 6H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3$
----------------	--

Este proceso se puede producir a partir de diversos compuestos que sirven como precursores directos de metano. dióxido de carbono (CO₂), metanol (CH₃HO), formiato (HCOO-), metilmercaptano (CH₃HS), acetato (CH₃COO-) y metilaminas. La mayoría de los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H₂ como aceptor de electrones, mientras que solo dos géneros son capaces de utilizar el acetato (**Ferguson y Mah, 1987**). A pesar de ello, en ciertos ambientes anaerobios, este es el principal precursor del metano, considerándose que alrededor del 70% del metano producido en los reactores anaerobios se forma a partir de acetato (**Jeris et al., 1965, citado en Ferguson y Mah, 1987**). Los dos géneros que tiene especies acetotróficas son Methanosarcina y Methanotrix, siendo el principal exponente Methanosarcina barkeri, que es capaz de crecer en diversos sustratos, entre los que están H₂ y CO₂, acetato, metanol, metilaminas y CO (**Cairo y Paris, 1988**). Diversos compuestos se han descrito como inhibidores del crecimiento de los microorganismos metanogénicos. Entre los más conocidos están el Nitrógeno amoniacal, los ácidos grasos de cadena larga, ácidos grasos volátiles, algunos cationes y otros. No todos los grupos de metanogénicos resultan igualmente inhibidos por los mismos compuestos, la inhibición por el amoníaco libre es más fuerte para los metanogénicos acetoclasticos que para los hidrogenotróficos.

La fuente del inóculo requerido pueden ser los lodos activos utilizados en el tratamiento de aguas residuales; el cual se lleva a cabo en dos etapas: en la primera etapa se utilizan bacterias facultativas u anaerobias obligadas no metanogénicas; en la segunda etapa se utilizan bacterias anaerobias estrictamente metanogénicas.

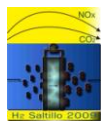
MATERIALES Y METODOS

Los materiales utilizados para campo fueron los más comunes y fáciles de encontrar y esto nos facilitó la forma de recolección de la materia prima utilizada y para este caso fue el material siguiente: Pala cucharona, Cubetas de plástico de 20 litros con sus respectivas tapas, Botas de hule, Guantes de gamuza, Guantes de hule, Bata, Cubre boca, lentes de seguridad, y traje antibiológico. Los métodos aplicados para el campo fueron sencillos, solo bastó con recolectar las excretas de los cerdos dentro de las cubetas y taparlas; aunado a esta recolección se tomó en cuenta, que las heces no debían contener muchas orinas revueltas, esta selección fue a simple vista y debido a ello se tuvo mucha precaución. El biodigestor propuesto a nivel laboratorio es un aparato que se construyó utilizando un contenedor de 20 litros, colocándole volúmenes estandarizados de



inóculo, inmediatamente se inició el proceso de fermentación anaerobia, en donde se llevaron a cabo las reacciones metabólicas. Una mezcla de agua y desecho animal generó el metano el cual fué recolectado en un globo. El contenedor de 20 litros actúa de la misma manera que el estómago de un animal de granja proveyendo el calor y las condiciones de humedad que favorecieron a las bacterias metanogénicas. Las precauciones de seguridad que se tuvieron en cuenta fue que los principales peligros en esta actividad fueron del uso de herramientas filosas como navajas y tijeras. No existió riesgo de explosión del metano porque este gas se disipa antes de alcanzar una concentración inflamable en el espacio de una habitación. Como precauciones de campo se consideró importante el uso de guantes, botas, cubre bocas, bata, con el fin de evitar contaminación biológica. Se tuvo especial cuidado en el manejo del equipo de digestión, así como con el manejo del mechero de Bunsen para realizar la prueba de combustión en el laboratorio. Se tomó el tubo de cobre de 30 cm con $\frac{1}{4}$ " de diámetro, procurando eliminar los bordes filosos con una lija y limpiando los residuos muy bien. El globo para Helio contiene una válvula que previene el escape del gas una vez que se ha llenado, ésta válvula ayudó a sellar el contorno de la tubería de cobre. Posteriormente se introdujo el tubo de cobre en el interior del globo, se probó el tubo para asegurar de que el aire pudiera entrar y salir del globo libremente, soplando un poco a través del tubo, inflándose sin ninguna resistencia. El aire fue capaz de salir fácilmente a través del tubo. Enseguida se selló la boca del globo utilizando cinta aislante. Usando la navaja cuidadosamente se perforó el centro de la tapa del garrafón. Se introdujo el conector T utilizando roscas para ajustar y sellar. Se colocó cinta teflón para eliminar las posibles fugas del gas. Finalmente se utilizó silicón para sellar los bordes y se colocaron los dos tubos de cobre con rosca en el conector T. Después se usó cinta teflón y se ajustó perfectamente utilizando la llave perica. Se cortaron los dos segmentos de manguera para gas. Uno que se conectó con el globo recolector de biogás, y el otro con un mechero de Bunsen en el que se realizó la prueba de combustión. La preparación del inóculo se realizó en el exterior, teniendo en cuenta las medidas de seguridad, utilizando guantes, bata, cubre bocas y los lentes de seguridad. Se cortó el fondo de un bote de galón y fue usado como embudo de boca ancha. Se colocó el embudo en la boca del contenedor, y se arrojó poco a poco pequeñas cantidades de excretas de cerdo recolectadas previamente. Seguidamente se utilizó una vara de Madera para mover los trozos de excretas que quedaban atrapadas en la boca del contenedor. Se añadió suficiente agua para alcanzar un nivel cercano al máximo del contenedor. Se usó la vara de madera para liberar cualquier burbuja de aire que haya quedado atrapada. Se limpió el contenedor perfectamente y se selló con la tapa. Finalmente nos lavamos las manos con jabón y esterilizamos con alcohol de 90 °.

RESULTADOS Y DISCUSION



IX Congreso Internacional de la SMH, Saltillo 2009

Se obtuvo de la fermentación anaerobia de 10 kg de excretas de ganado porcino un total de 0.119 m^3 de biogás, haciendo mención que un 60 % es gas metano (0.0714 m^3) y el 40 % restante es ácido Sulfhídrico SH (0.0476 m^3). Es muy importante concienciar a los dueños de las granjas porcinas de que éstas generan un enorme volumen de desechos orgánicos contaminantes (RSM) que son vertidos a los ecosistemas acuáticos y estos dañan gravemente las cadenas tróficas de alimentación (flora y fauna) de estos ecosistemas, al suelo y a la atmósfera de nuestro estado. Por lo tanto es importante darles a conocer las técnicas que se pueden aplicar para disminuir los daños irreversibles ocasionados por las descargas de excretas sin ningún tratamiento a nuestros ecosistemas acuáticos causándoles problemas de eutrofización, los cuales son recursos no renovables. En conclusión la obtención de biocombustibles a partir de desechos es una alternativa sustentable, que se puede utilizar como fuente alterna de energía. Por lo tanto se propone la creación de una planta productora de biogás, debido a la alta generación de RSM orgánicos (excretas de cerdo).

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Fisico-Química del Instituto Tecnológico de Villahermosa.

LITERATURA CITADA

Campabadal C. (1995) Utilización de excretas porcinas en la alimentación del ganado, en Memorias Seminario sobre Manejo Tratamiento y Reuso de Excretas Porcinas: México. 350 pp.

Pérez E. R. (1993) Perspectivas de la porcicultura en México, en XV Simposium de Ganadería Tropical: México. 300 pp.

P. E., Pérez R., Girón E. (1996) Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México. 200 pp.

Pérez E. R. (1992) Ganadería Porcina y medio ambiente. México Ganadero: México. 25 pp.

Sapag C. N. (1999) Preparación y evaluación de proyectos, Ed. Mc Graw Hill, México. 650 pp.

Díaz D. J. (1999) Rediseño de un equipo triturador de bolsas de polietileno, por medio de un proceso de escalamiento, ITVH, México. 130 pp.