

CARACTERIZACION Y ADAPTACION DE SUSTRATOS DE FAENA PORCINA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA

M.J. Galván^{1,2}, S. Degano², J. Hilbert³, M. Montenegro^{1,2}

1. Centro de Investigaciones y Transferencia de Villa María (CONICET- UNVM).
2. Instituto Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas.
Universidad Nacional de Villa María-Córdoba, Argentina.
3. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA-Castelar
UNVM-Campus, Arturo Jauretche 1555, Villa María-Córdoba, Tel: 353 4539106,
mariajosegalvan@yahoo.com.ar, s.degano@hotmail.com.ar

Resumen

La digestión anaerobia es un proceso natural, ocurre de forma espontánea en la naturaleza y es parte del ciclo biológico, en la misma un consorcio de bacterias descompone la materia orgánica y produce biogás que contiene principalmente metano y dióxido de carbono. El proceso no sólo reduce la contaminación orgánica, sino que también proporciona una nueva fuente de energía. Informes del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) indican que la carne de porcino representa el 40% del consumo mundial de carne y proyecta un incremento de un 20% al 2020. Las consecuencias de dicha producción generan la contaminación del agua y el aire. El objetivo de este trabajo fue llevar a cabo una evaluación de sustratos de la faena porcina para la producción de biogás de calidad, mediante digestión anaerobia. Los sustratos analizados son efluentes sólidos provenientes de la industria de la faena de cerdos (mucanga, sangre, sólidos recuperados) y un efluente líquido proveniente de la limpieza de la faena y de los corrales. Se determinaron características físico-químicas de efluentes sólidos: Humedad, Materia seca, Proteínas crudas, Materia grasa, Cenizas, Carbohidratos, Nitrógeno total y Materia grasa; efluentes líquidos, pH, Sólidos totales (ST), Sólidos totales volátiles (SV), Sólidos totales fijos (SF), Sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV), Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda biológica de oxígeno (DBO5 20°C).

Además se analizó la biodegradabilidad anaeróbica y el potencial de metano de diferentes mezclas de estos coproductos. Resultados parciales mostraron que estos tipos de sustratos se caracterizan por un alto contenido de proteínas y grasas y de acuerdo a bibliografía podrían considerarse coproductos atractivos para la digestión anaerobia, por sus altos rendimientos de producción de metano a pesar de presentar inconvenientes, como tasas de hidrólisis bajas e inhibición del proceso de digestión anaeróbica. La optimización de sustratos y adaptación de biodigestores, servirá de apoyo científico para simulaciones a escala piloto con transferencia directa de datos en la mejora de producción de biogás y calidad del mismo a nivel industrial, promoviendo el cuidado del medioambiente y apoyando así a las economías regionales; investigando para presentar solución a problemas prioritarios como disponibilidad de combustibles y generación de energía.

Palabras claves: subproductos animales), Biodigestión, Metanogénesis.

Abstract

Anaerobic digestion is a natural process, occurs spontaneously in nature and is part of the biological cycle; in it a consortium of bacteria decomposes organic matter and produces biogas containing mainly methane and carbon dioxide. The process not only reduces organic pollution, but also provides a new source of energy. Reports from the National Institute of Agricultural Technology (INTA) indicate that pork represents 40% of the world's meat consumption and projects an increase of 20% by 2020. The consequences of this production generate water and air pollution. The objective of this work was to carry out an evaluation of substrates of the porcine work for the production of biogas of quality, through anaerobic digestion. The analyzed substrates are solid effluents from the pig slaughtering industry (mucanga, blood, recovered solids) and a liquid effluent from the cleaning of the farm and pens. Physicochemical characteristics of solid effluents were determined: Humidity, Dry matter, Raw proteins, Fat matter, Ashes, Carbohydrates, Total Nitrogen and Fatty matter; (SST and SSV), Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD5), Total Solids (ST), Total Volatile Solids (SV), Fixed Total Solids 20 ° C). In addition, the anaerobic biodegradability and the methane potential of different mixtures of these co-products were analyzed. Partial results showed that these types of substrates are characterized by a high content of proteins and fats and according to bibliography could be considered attractive co-products for the anaerobic digestion, for their high yields of methane in spite of presenting drawbacks, such as hydrolysis rates And inhibition of the anaerobic digestion process. The optimization of substrates and adaptation of biodigestors will serve as scientific support for simulations on a pilot scale with direct data transfer in the improvement of biogas production and quality of the same at industrial level, promoting the care of the environment and thus supporting the regional economies; Investigating to solve priority problems such as fuel availability and energy generation.

Keywords: SPA (waste processing), Biodigestion, Metanogenesis.

Introducción

La digestión anaeróbica se puede utilizar para valorizar los coproductos y realizar tratamiento de los efluentes del frigorífico, realizando una recuperación energética de los mismos (Blanco Cobián, 2011). Luego del proceso de obtención de energía pueden ser utilizados para la fertilización de cultivos (biofertilizante).

Los residuos de mataderos, se caracterizan por un alto contenido de materia orgánica, compuesto principalmente de proteínas y grasas. De hecho, hay poca información disponible sobre la cuantificación, las características y las opciones de tratamiento de los subproductos animales y los desechos de los mataderos (Palatsi et al., 2010). Podrían ser considerados como un buen sustrato para el proceso de digestión anaerobia, debido a sus altos rendimientos de producción de metano esperados. Sin embargo, se han informado tasas de hidrólisis bajas e inhibición del proceso de digestión anaeróbica de los subproductos animales, la hidrólisis debe ser acoplado con el crecimiento de bacterias hidrolíticas, y este factor puede limitar la tasa global de degradación (Vavilin et al., 2008).

Las bajas tasas de producción de metano, podrían estar relacionadas con el contenido de proteínas difíciles de degradar en los subproductos animales (proteínas matrices, colágeno y queratina), consideradas como fuertemente resistentes a la acción de las proteinasas, debido a sus características estructurales (Suzuki et al., 2006)

Otros estudios demostraron que la inhibición de LCFA (ácidos grasos de cadena larga) es un fenómeno reversible, relacionado con la adsorción física de LCFA que puede obstaculizar la transferencia de sustrato y metabolitos a través de las paredes celulares microbianas (Pereira et al., 2005). En consecuencia, la inhibición de la LCFA se monitorea como un retraso inicial en la formación de Metano o como una larga fase lag de latencia antes de la degradación completa del sustrato (Hejnfelt y Angelidaki, 2009; Palatsi et al., 2010; Pereira et al., 2005)

Palatsi et al. (2010) realizaron ensayos en Batch con mezclas de residuos de matadero caracterizados y mostraron alta biodegradabilidad y elevado potencial en la producción de metano, pero los lípidos tuvieron un efecto limitante sobre la cinética del proceso global. A pesar de que bibliografía reporta inhibición a dosis altas de sustrato, el sistema sería capaz de recuperar la actividad metanogénica y, finalmente, degradar el sustrato por un fenómeno de adaptación, en relación con un aumento específico de las Eubacterias (proteolíticas y b-oxidantes) y la población Archaea.

Es aquí donde puede innovar el potencial del sector agropecuario, diversificando la matriz energética y producción, al utilizar los efluentes de la producción animal, residuos de cosechas, cultivos energéticos, subproductos de la industria, entre otros, y darles un valor económico utilizándolos en la producción de energía, dando gestión a un problema ambiental y obtener un beneficio económico y ambiental.

Las industrias frigoríficas de la zona de Villa Maria generan continuamente grandes cantidades de efluentes líquidos y sólidos. Las corrientes provienen principalmente de la limpieza de planta, lavado de corrales, excedentes de sangre, sólidos recuperados del tamiz rotativo, recuperación de grasas de los separadores y de la mucanga: residuos sólidos constituidos por menudencias, cueros, grasas y restos cárnicos.

Este trabajo propone el empleo de un sustrato no convencional, compuesto por efluentes sólidos provenientes de la industria de la faena porcina (mucanga, sangre, sólidos recuperados) y un efluente líquido proveniente de la limpieza del frigorífico y de los corrales. Para la producción de biogás de calidad, se identificarán los diferentes coproductos de la faena porcina y las características físico-químicas, además se estudiara la biodegradabilidad anaeróbica y el potencial de metano de las mezclas de coproductos de faena porcina, con el fin de identificar las posibles limitaciones del proceso y mecanismos de inhibición.

Si bien la tecnología de biodigestión anaeróbica, ya es utilizada a nivel mundial y desde hace décadas en diversos tratamientos, pero no al procesamiento de mucanga, un efluente sólido cuyo contenido energético no es aprovechado, la misma está en vías de desarrollo, ya que estos efluentes sólidos tienen altos contenidos de grasa y proteínas, los que dificultan la biodigestión. (Eskicioglu, 2011).

Materiales y métodos

Caracterización de sustrato

Se realizó la caracterización de los sustratos no convencionales (compuestos por efluentes sólidos provenientes de la industria de la faena de cerdos: Mucanga, sangre, sólidos recuperados y un efluente líquido proveniente de la limpieza del frigorífico y de los corrales), usando como metodología de referencia la norma VDI 4630:2006 (fermentación de materiales orgánicos, caracterización del sustrato, muestreo, recopilación de datos, test de fermentación, The Association of German Engineers). Dentro de las actividades se analizaron las diferentes etapas de producción y se identificaron las líneas de generación de efluentes y se definió un plan de monitoreo (puntos de muestreos, frecuencia analítica y tipos de análisis), se tomaron muestras de los mismos y se llevaron a cabo los siguientes análisis en sustratos sólidos: Humedad (AOAC 950.46), Materia seca (AOAC 950.46), Proteínas crudas (AOAC 928.08), Materia grasa (AOAC 960.39), Cenizas (AOAC 920.153), Carbohidratos (Calculo), Sólidos totales (ST) (APHA 2540-B), Sólidos totales volátiles (SV) (APHA 2540-E) y Sólidos totales fijos (SF) (APHA 2540-E), Nitrógeno total (APHA 4500-B). Efluentes líquidos: pH (APHA 4550-H+ B), Sólidos totales (ST) (APHA 2540-B), Sólidos totales volátiles (SV) (APHA 2540-E), Sólidos totales fijos (SF) (APHA 2540-E), Sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV) (APHA 2540-D), Demanda química de oxígeno (DQO) (APHA 5220-RQO-D) y Demanda biológica de oxígeno (DBO5 20°C) (APHA 5210-RBO-B), Nitrógeno total (APHA 4500-B).

Biodegradabilidad

Se evaluó la biodegradabilidad anaeróbica y el potencial de metano de las mezclas de coproductos de la faena porcina, con el fin de identificar las limitaciones del proceso y los mecanismos de inhibición. Se estudió el comportamiento de las distintas variables para lo cual se realizaron las siguientes determinaciones: pH (APHA 4550-H+ B), FOS/TAC (Test de valoración - Método Nordmann), Sólidos totales (ST) (APHA 2540-B), Sólidos totales volátiles (SV) (APHA 2540-E), Sólidos totales fijos (SF) (APHA 2540-E), Sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV) (APHA 2540-D), Demanda química de oxígeno (DQO) (APHA 5220-RQO-D), Demanda biológica de oxígeno (DBO5 20°C) (APHA 5210-RBO-B), Temperatura (°C). Para esto se diseñó un biodigestor de alimentación pulsada para evaluar la variación de la relación FOS/TAC de acuerdo a la alimentación obtenida con la mezcla final de efluentes procesados (triturados y pasteurizados a 70°C). Se adaptó el inoculo (estiércol de porcino diluido) a 35°C por dos días y cuando los valores de FOS/TAC (proporción de los ácidos orgánicos volátiles y la capacidad amortiguadora) fueron por debajo de 0,4 se alimentó el digestor con 20 ml de la mezcla de sustrato. La proporción de FOS/TAC es un indicador fundamental del estado del fermentador, por lo que se debe hacer un seguimiento de las variaciones que experimente. Su valor determina la acción correcta que deberá realizar para que el rendimiento y la seguridad del digestor sean óptimos.

Resultados y discusiones

Caracterización de líneas generadoras de efluentes en el proceso de faena.

Se identificaron diferentes líneas de generación de efluentes en plantas de faena porcina: Efluentes líquidos de CI3 (cámara de inspección 3, agua de lavado de faenado), PB3 (pozo de bombeo 3, sangre de degüello); Efluentes sólidos: T04 (cámara estiercolera-tamiz rotativo), Recepción F2 (recepción de mucanga). Los valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos analizados se presentan en la tabla 1 y 2.

Tabla 1: Efluentes líquidos

Puntos de muestreo		
Parametros	CI3	PB3
DQO mgO ₂ /l	7500	N/D
ST mg/l	3646	1163
SV mg/l	3132	630
DBO ₅ mg O ₂ /l	5768	N/D

Fuente: Propia

Tabla 2: Efluentes solidos

Puntos de muestreo		
Parametros	T04	F2
Humedad %	61,2	74,2
Mat. Seca %	38,8	25,8
ST Volátiles%	36,6	27
Proteína BH %	7,6	12,5
Mat. grasa BH %	27,3	7,4
Cenizas BH %	2	3
Carboh. BH %	1,9	2,9
Proteína BS %	19,6	48,8
Mat. grasa BS %	70,4	28,8
Cenizas BS %	5,2	11,6
Carboh. BS %	4,8	11,2

Fuente: Propia

Estas diferentes corrientes de coproductos de la faena porcina, presentaron un alto porcentaje Solidos Volátiles, indicando así un elevado contenido en materia orgánica, principalmente compuesta por proteínas y grasas. La relación DBO₅/DQO fue superior a 0,79 por lo que podrían presentar una biodegradación lenta. Existe poca referencia bibliográfica en cuanto a la cuantificación, características y potenciales de producción de metano de los subproductos animales y de las corrientes residuales de matadero. Tritt y Schuchard (1992) y Edström et al. (2003) realizaron una primera revisión de los flujos de producción y estrategias de tratamiento de la industria cárnica Alemana y Suiza. Hejnfelt y Angelidaki (2009) han caracterizado de forma individual las fracciones y los potenciales de producción de metano en mataderos de Dinamarca.

A modo de ejemplo comparativo se presenta en tabla 3 (Palatsi et al., 2010), la caracterización de diferentes tipos de subproductos analizados durante estos años por el grupo de investigación del GIRO, mediante la cuantificación del contenido en; sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), nitrógeno total (NTK), nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺), contenido en grasa (Soxhlet) y demanda química de oxígeno (DQO), de acuerdo con Standard Methods (APHA, 1999).

Tabla 3: Caracterización de diferentes tipos de subproductos

Substrato	Sólidos Totales - ST (g kg ⁻¹)	Materia Orgánica (% ST)	Proteína* (g kg ⁻¹)	Grasa (g kg ⁻¹)
Grasa porcino	500-550	95-98	75-95	400-450
Grasa bovino	800-850	95-98	20-40	820-850
Decomisos(vísceras)	230-250	85-95	150-170	40-60
Tripería	180-190	95-98	70-80	85-90
Contenido ruminal	115-120	90-95	70-80	85-90
Sangre	150-200	92-95	145-200	Nd
Harinas de carne	950-970	70-80	520-560	110-130
Residuo Avícola	307-310	86-88	150-155	75-80
Lodos primarios EDAR	49,54	80,8	15,1	Nd
Lodos concentrados	77,95	79,3	20,4	Nd
M1 (mezcla 1)	79.69	98	11.38	10.08
M2 (mezcla 2)	36.00	95	63.29	20.92

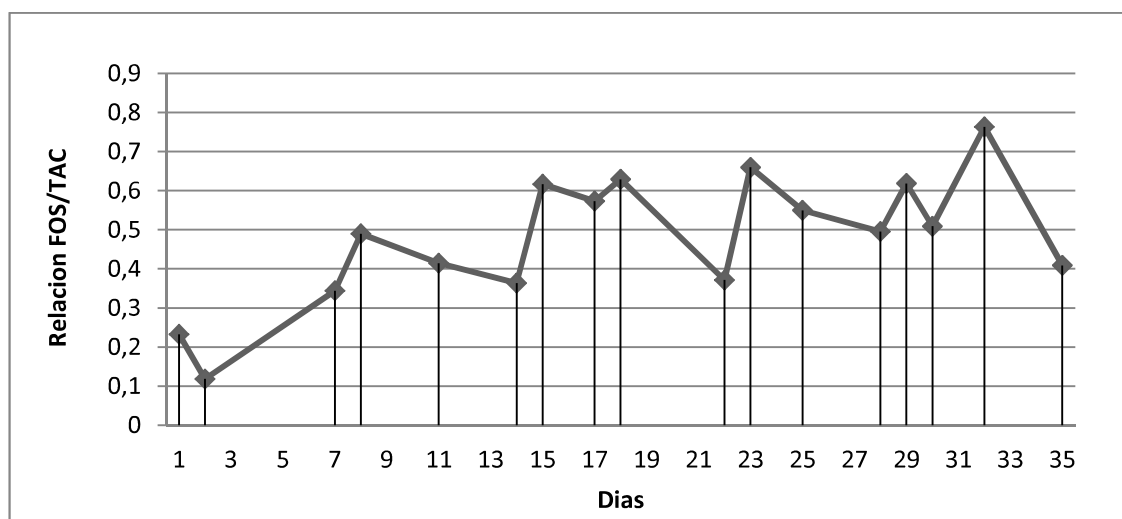
*El contenido en proteína se estimó a partir de una relación 6,25 proteína/Norg.

Palatsi et al., 2010

Adaptación de inoculo al consumo del sustrato

Se diseñó un digestor de alimentación pulsada para evaluar la variación de la relación FOS/TAC de acuerdo a la alimentación con la mezcla final de efluentes procesados (triturados y pasteurizados a 70°C). Se adaptó el inoculo (estiércol de porcino diluido) a 35°C por dos días y cuando los valores de FOS/TAC (proporción de los ácidos orgánicos volátiles y la capacidad amortiguadora) fueron por debajo de 0,4 (Deula-Neinburg, 1992) se alimentó el digestor con 20 ml de la mezcla de los sustratos caracterizados.

Figura 1. Relación FOS/TAC vs días de biodigestion



Fuente: propia

Los valores obtenidos de la relación FOS/TAC en función del tiempo en días, se muestran en la figura 1. Los mismos mostraron que la relación de FOS/TAC inicial con el inoculo (estiércol de cerdo diluido) descendió a valores se aproximadamente 0,1 en el día 2, fue alimentado con el sustrato (mezcla de subproductos de faena, pretratados) duplicándose prácticamente esta relación. Se continuo con esta alimentación cuando la relación alcanzaba valores entre 0,4-0,5, observándose una adaptación del biodigestor al consumo del sustrato en un THR (tiempo hidráulico de retención) de tres días promedio y presentando producción de biogás.

El rango de FOS/TAC se incrementó y no está dentro de los valores óptimos para la alimentación 0,4-0,5 según lo establece el método Deula-Neinburg, el cual no incluye este tipo de sustratos para la digestión anaeróbica.

Estos resultados son parciales y las etapas se concretarán durante el transcurso de la investigación.

Bibliografía

Antelmann, B. 1992. Klima im Stall. DEULA, Nienburg, 43 S.

APHA, AWWA y WCF. 1998. Standard methods for examination of water and wastewater. 20th edition. American Public Health Association 1015. Anaerobic treatment of slaughterhouse waste and wastewater. 2001. Technical information W5e. Naturgerechte Technologien, Bau- und Wirtschaftsberatung (TBW) GmbH, Frankfurt, Germany.

Blanco Cobián, Daniel. (2011). Tratamiento biológico aerobio-anaerobio-aerobio de residuos ganaderos para la obtención de biogás y compost, Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Ingeniería Química.

C Eskicioglu, KJ Kennedy, J Marin, B Strehler. Anaerobic digestion of whole stillage from dry-grind corn ethanol plant under mesophilic and thermophilic conditions- *Bioresource technology*, 2011 – Elsevier.

Edstrom, M. Norberg, A. Thyselius, L. 2003. Anaerobic treatment of animal byproducts from slaughterhouses at laboratory and pilot scale. *Applied Biochemistry and Biotechnology* April–June 2003, Volume 109.

Hejnfelt, A, Angelidaki, I. 2009. Anaerobic digestion of slaughterhouse by-products. *Elsevier Biomass and Bioenergy*, Volume 33.

Suzuki, Y., Tsujimoto, Y., Matsui, H., Watanabe, K., 2006. Decomposition of extremely hard-to-degrade animal proteins by thermophilic bacteria. *J. Biosci. Bioeng.* 102 (2), 77–81.

Vavilin, V.A., Fernandez, B., Palatsi, J., Flotats, X., 2008. Hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic material. *Waste Manag.* 28 (6), 939–951.

VDI 4630:2006 (fermentación de materiales orgánicos, caracterización del sustrato, muestreo, recopilación de datos, test de fermentación, The Association of German Engineers).

Hejnfelt, A., Angelidaki, I., 2009. Anaerobic digestion of slaughterhouse by-products. *Biomass Bioenergy* 33, 1046–1054.

Nordmann W., 1977, Die Überwachung der Schlammfäulung. KA-Informationen für das Betriebspersonal, Beilage zur Korrespondenz Abwasser, 3/77.

Palatsi, J., Illa, J., Prenafeta, F.X., Laurenzi, M., Fernández, B., Angelidaki, I., Flotats, X. (2010). Long-chain fatty acids inhibition and adaptation process in anaerobic thermophilic digestion: batch test, microbial community structure and mathematical modelling. *Bioresource Technology*, 101, 3343-2251.

Palatsi, J., Illa, J., Prenafeta-Boldu, F.X., Laurenzi, M., Fernandez, B., Angelidaki, I., Flotats, X., 2010. Long-chain fatty acids inhibition and adaptation process in anaerobic thermophilic digestion: batch test, microbial community structure and mathematical modelling. *Bioresour. Technol.* 101, 2243–2251.

Pereira, M.A., Pires, O.C., Mota, M., Alves, M.M., 2005. Anaerobic biodegradation of oleic and palmitic acids: evidence of mass transfer limitation caused by long chain fatty acid accumulation onto anaerobic sludge. *Biotechnol. Bioeng.* 92 (1), 15–23.

W. P. Tritt & F. Schuchardt 1991 Materials Flow and Possibilities of Treating Liquid and Solid Wastes from Slaughterhouses in Germany. A Review Institute of Technology, Federal Research

Centre of Agriculture, Bundesallee 50, W-3300 Braunschweig, Germany Bioresource Technology
41 (1992) 235-245