APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA TRATAR RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES UTILIZANDO INÓCULO DE ESTIÉRCOL PORCINO, EN CONDICIONES MESOFÍLICAS

APPLICATION OF THE ANAEROBIC DIGESTION TECHNOLOGY TO TREAT SOLID AGROINDUSTRIAL WASTE USING PORCINE STRETCH INOCULO, IN MESOFÍLIC CONDITIONS

Lic. Edelbis López Dávila[I], Lic. Janet Jiménez Hernández[I], Dr.C. Osvaldo Romero Romero[II], Dr.C. Jo Dewulf[III]

I:Universidad de Sancti Spíritus. Cuba.
II: Postgrado y Relaciones Internacionales Universidad de Sancti Spíritus. Cuba. osvaldo@bibliocuss.suss.co.cu
III: Profesor Investigador. Grupo de Investigación ENVOC, Universidad de Gante. Bélgica

Resumen

El tratamiento de residuos agroindustriales utilizando la tecnología anaerobia se ha incrementado debido a la producción creciente, bajo costo y alto contenido de carbono de estos residuos. Se han desarrollado tecnologías de fermentación para sólidos pero aún resultan muy costosas. Por ello, este trabajo consistió en evaluar la aplicación de un proceso de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos sólidos agroindustriales, a través del potencial de biogás y utilizando como inóculo un lodo adaptado a estiércol porcino. Los residuos utilizados fueron paja de caña, paja de arroz, paja de maíz, paja de plátano, paja de frijol, paja de café y bagazo de caña. Se realizaron experimentos en lote, en botellas serológicas de 585mL, bajo condiciones mesofilicas (37±2ºC). Se determinaron parámetros físico–químicos (STT, STV, pH, Alcalinidad), los AGVs y la producción de biogás. Los resultados mostraron, un incremento en la producción de biogás en todos los casos respecto a la referencia, con mejores resultados para la paja de frijol y de maíz. Se obtuvo baja acumulación de AGVs para todos los residuos, excepto para la paja de arroz (alto contenido lignocelulósico). Los parámetros físico-químicos mostraron la estabilidad de los procesos. Finalmente se demostró la viabilidad del inóculo porcino utilizado para el arranque de digestores que traten anaeróbicamente estos residuos agroindustriales.

Palabras clave: digestión anaerobia, biogás, residuos sólidos agroindustriales.

Abstract

The agricultural and industrial residue management through anaerobic digestion has increased due to their growing production, low costs and high carbon content. Some fermentation technologies for solids wastes have been developed, but they are too expensive for developing countries. That is why this paper consists in assessing the application of an anaerobic digestion process for treating the agricultural and industrial solid wastes, through biogas potential measured using sludge fed with pig manure as inoculum. The wastes were sugar cane straw, rice straw, corn straw, dry banana leaves, bean straw, coffee straw and sugar cane bagasse. Batch experiments in 585mL bottles were carried out under mesophilic condition (37±2ºC). Some physic-chemical parameters were determined (TSS, VSS, pH, Alkalinity, Alkalinity ratio) to process monitoring as well as the VFAs and the biogas production. The results showed a biogas production increase respect to control in all cases, with the best results for bean straw and corn straw. Low accumulation of VFAs for all wastes anaerobic treatment was obtained, except for rice straw due to their lignocelluloses compounds. The physic-chemical parameters showed the process stability for all. Finally it was showed the viability of pig manure inoculums used for this wastes anaerobic treatment start up.

Keywords: anaerobic digestion, biogas, solid agriculture and industrial residues.

INTRODUCCION

La Tecnología de Digestión Anaerobia (DA) como tratamiento ecológico de residuos sólidos agroindustriales aprovechando el potencial de biomasa presente en ellos para producir biogás resulta atractivo para la región central de Cuba. Donde puede sustituirse anualmente el uso de 4 kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep) [4]. El uso de esta tecnología se ha incrementado debido al bajo costo, producción creciente y contenido de carbono de la biomasa agrícola, que puede equilibrar el contenido de nutrientes en plantas de tratamiento de co-digestión anaerobia. [1, 5]. Para tratar residuos sólidos agrícolas se han desarrollado las tecnologías de fermentación en estado seco [2], incluso se han diseñado reactores tipo para la fermentación de sólidos, como silage de maíz y otros cultivos energéticos [7, 8]. Sin embargo estas tecnologías aún resultan muy costosas para países en vías de desarrollo. Por ello en aras de lograr la gestión ecológica de residuos agroindustriales, aprovechando su potencial como biomasa orgánica para producir biogás [5], este trabajo consistió en evaluar la aplicación de un proceso de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos sólidos agroindustriales generados en la provincia de Sancti Spíritus, a través del potencial de biogás y utilizando como inóculo un lodo adaptado a estiércol porcino.

FUNDAMENTACION TEORICA

La generación de residuos que contaminan el medio ambiente, específicamente los residuos sólidos, unido al consumismo creciente y altos precios de los combustibles fósiles, hacen del Tratamiento Anaerobio, una tecnología atractiva, poco costosa y cuyos productos (biogás y bioabono) tienen un alto valor agregado, alternativa muy provechosa y económicamente factible, para los países en vías de desarrollo [1, 3, 4, 5]. Esta tecnología constituye una solución viable para reducir el volumen y concentración de materia orgánica de los residuos, mejorando la calidad de los desechos [6, 7, 9].

En Cuba, donde la generación eléctrica depende en un 99% de los combustibles fósiles, reviste especial importancia el uso de esta tecnología de digestión anaerobia para aprovechar esa fuente de energía renovable [4].

La Digestión Anaerobia de residuales es una intensificación tecnológica de procesos que ocurren espontáneamente en la naturaleza, llevados a cabo por un grupo de microorganismos, en su mayoría son anaerobios que degradan parte de los compuestos orgánicos de un sustrato obteniéndose biogás, (mezcla de dióxido de carbono, metano y trazas de sulfuro de hidrogeno, di-hidrógeno y amoniaco) cuya riqueza en metano (combustible) depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. En el proceso más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aerobio [1]. A pesar de ello, la biomasa necesita para su desarrollo el suministro de una serie de nutrientes, además de una fuente de carbono y de energía. Así, varios autores han expresado las necesidades de un balance determinado de carbono(C), nitrógeno(N) y fósforo (P) en la composición del sustrato a degradar para lograr una eficiencia metabólica en el proceso, considerándose que la relación C/N debe oscilar entre 15-30:1, y la C/P de 75-113 [1, 8].

En Europa esta tecnología es muy empleada, existiendo países que han logrado obtener el 30% de su energía a partir de la DA. Allí se han construido varias plantas de biogás empleando residuos agrícolas y cultivos energéticos en particular silage de cereales y maíz, en su mayoría utilizando co-digestión de estos con residuos ganaderos.

De acuerdo a la FAO (2009), los cereales son la fuente más importante de alimentación humana. La utilización de residuales agrícolas como biomasa disminuirá la producción de cultivos energéticos para la obtención de combustibles, destinándose estos a la alimentación humana.

Los residuos agrícolas como la paja constituyen una biomasa orgánica con alto contenido de carbono y cuya degradación ha sido probada por varios autores [1, 3], donde se incluye la tecnología de digestión anaerobia para la producción de metano. No obstante el alto contenido de compuestos lignocelulósicos, dificulta su biodegradación y por ende ha frenado el desarrollo de métodos para la gestión ecológica de estos residuos [2, 5].

Desde 1986 fueron evaluados por Kalra y Panwar los residuos del cultivo del Arroz (paja y cascarilla) como sustratos de la digestión anaerobia para la producción de metano con resultados alentadores. Por otro lado la cosecha de arroz es una de las más abundantes a nivel mundial, lo cual conlleva a una alta generación de residuos (paja, cascarilla, residuos del secadero, entre otros). En el caso de la paja, existen algunos métodos para su reúso como: alimento animal, fabricación de papel y generación térmica, sin embargo la gran mayoría de la paja generada por cosecha queda sin reusarse y por tanto es incinerada a campo abierto, causando serios daños ambientales [2].

La eficiencia en el tratamiento de residuos agropecuarios por digestión anaerobia depende de la estabilidad de dicho proceso dada por la actividad de una población mixta

de bacterias anaeróbicas cuya interrupción puede causar un rápido incremento en la concentración de los ácidos grasos volátiles, con el consecuente decremento en la Actividad Metanogénica Específica (AME) [1]. De ahí la importancia a la hora de crear una tecnología para una residual en específico o mezcla de varios, tener en cuenta evaluar parámetros físicos-químicos en todas las partes del proceso.

Para optimizar la tecnología en la DA, diferentes tipos de residuos, principalmente de la industria agroalimentaria, se han estudiados como co-sustratos de residuos ganaderos. Se estudiaron la viabilidad de la co-digestión de estiércol con residuos de la elaboración de piensos. Debido al alto contenido en nitrógeno de este producto, inicialmente se produce la inmediata inhibición del proceso de digestión, aunque finalmente los microorganismos son capaces de aclimatarse, disminuyendo la concentración de ácidos grasos volátiles y produciendo una alta y constante producción de biogás. Se han obtenido también resultados positivos al mezclar estiércol de bovino y residuos lignocelulósicos, hojas machacadas, paja de trigo, restos vegetales, pretratados con hidróxido sódico [8], así como la mezcla de residuales porcino con paja. Con residuos de tomate se mejora la digestión del estiércol, así como la mezcla de residuos bovinos y residuos de frutas y verduras, creando así una tecnología variada.

A pesar de los buenos resultados recogidos en la bibliografía, al mezclar diferentes tipos de residuos dentro de un mismo reactor se corre el riesgo de introducción de sustancias tóxicas o inhibidoras para el proceso anaerobio, siendo preciso determinar la viabilidad de la mezcla, la viabilidad del inóculo, así como la proporción adecuada de cada substrato, y la optimización de otros parámetros del proceso, como la temperatura, velocidad de carga, etc [1]. Las bacterias metanogénicas son más sensibles a cualquier cambio en sus condiciones ambientales que los otros grupos tróficos presentes en el proceso de digestión anaeróbia, por lo que, para mejorar el tratamiento anaerobio, a la hora de diseñar los reactores para las diferentes tecnología creadas fue necesario controlar las condiciones ambientales para las bacterias metanogénicas. La temperatura constituye un factor clave. La mayoría de las aplicaciones de la DA se han llevado a cabo en ambientes mesofílicos (30 – 40 ºC), optima a 35 o termofílicos (50 – 60 ºC) optima a 55.

Por lo anterior expuesto, en aras de lograr la gestión ecológica de residuos agroindustriales, aprovechando su potencial como biomasa orgánica para producir biogás [5], este trabajo consistió en evaluar la digestión anaerobia de pajas residuales agroindustriales generadas en la provincia de Sancti Spíritus, para determinar su potencial de biogás utilizando como inóculo lodo adaptado a estiércol porcino.

MATERIALES Y METODOS

***Procedencia del inoculo y los residuos*.** Para la propuesta de adición en los procesos tecnológicos empleados en Cuba. Se utilizó como inóculo, lodo proveniente de un reactor alimentado con estiércol porcino. Los residuos agrícolas (paja de caña, paja de arroz, paja de maíz, paja de plátano, paja de frijol, paja de café y bagazo de caña) (Fig.1) fueron colectados al azar en regiones agrícolas e industriales (para el caso del bagazo) de la provincia de Sancti Spíritus, Cuba.

Fig. 1 Residuos agrícolas. A) paja de caña. B) paja de arroz. C) paja de maíz. D) paja de plátano. E) bagazo de caña. F) paja de frijol. G) paja de café.

Diseño de los experimentos. Los experimentos se realizaron en botellas serológicas de 585 mL, (pruebas en lote). Con los residuos pretratados físicamente por reducción de tamaño en un triturador y posterior tamizaje por malla de 2mm, se evaluó su digestión anaerobia a carga orgánica de 0.5gSTV/L. Se trabajó con tres replicas para cada residuo y se incubaron en condiciones mesofílicas (35 ± 2 ºC) durante 25 días. Los controles utilizados fueron: el inóculo sin sustrato (B1), y la combinación inóculo-estiércol porcino (B2).

Técnicas analíticas. Se determinaron los STT, STV y STF, el pH, la alcalinidad total y el $N\text{-}NH_4^+$ según, para dar seguimiento a cada experimento. También se determinó α como el cociente entre la alcalinidad parcial (debida a los carbonatos) y la alcalinidad total. Se cuantificó la concentración de AGVs por cromatografía de gases (Cromatógrafo Focus ThermoScientific, con detector de ionización de flama, columna Restek Stabilwax-DA, con gas acarreador Hidrógeno). La producción de biogás se determinó cada 24 horas, por desplazamiento de una jeringa milimetrada con la consecuente medición de la presión y la temperatura ambiental para normalizar la medición de biogás según [6].

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados mostraron que la producción total de biogás de la digestión de los residuales evaluados fue superior a la digestión anaerobia cuando solo se utiliza estiércol como sustrato (Fig. 2), similar a lo obtenido por [1, 9] en experimentos de co-digestión de estiércol porcino y residuos orgánicos de la producción de aceite de oliva. Los mejores valores se obtuvieron para la paja de frijol, lo cual resulta novedoso pues no se han encontrado reportes al respecto, también se destacan los resultados de paja de maíz y caña los cuales coinciden con lo reportado en la literatura [3, 6], sin embargo no utilizando este inóculo de estiércol porcino.

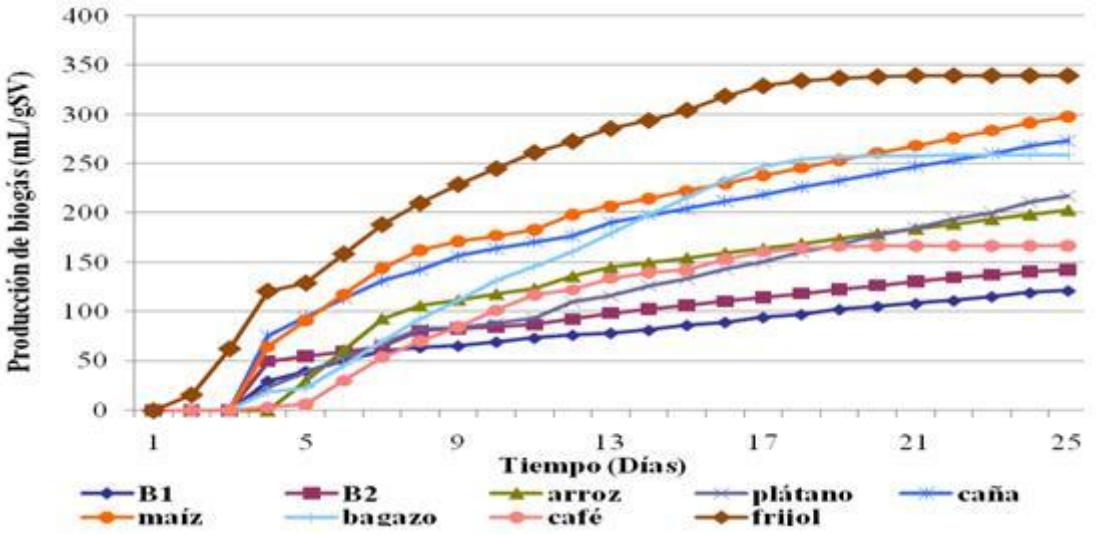

Fig.2 Potencial de biogás de los residuos.
Valores promedios de tres réplicas por cada residuo.

Por otro lado, la baja acumulación de AGVs al final de los experimentos mostró la eficiencia de conversión de estos en metano medido como la producción de biogás (Fig.3). En el caso de la paja de arroz la acumulación de AGVs se debe a que es el residuo de mayor contenido lignocelulósico lo cual dificulta su degradación similar a lo obtenido por [2].

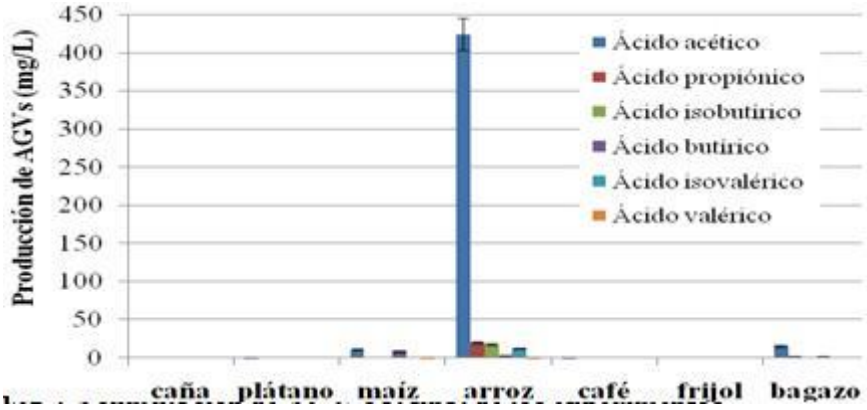

Fig.3 Acumulación de AGV´s al final de los experimentos.
Valores promedios de tres réplicas.

Los demás parámetros evaluados al final de los experimentos: pH (7.19-7.68), alcalinidad (3.5-4.16 gCaCO3/L), relación de alcalinidades (0.53-0.80) y sólidos volátiles (0.32-0.39 % de ST) fueron similares para los 7 tipos de residuos, (Fig. 4) aunque los valores de alcalinidad resultaron ligeramente altos.

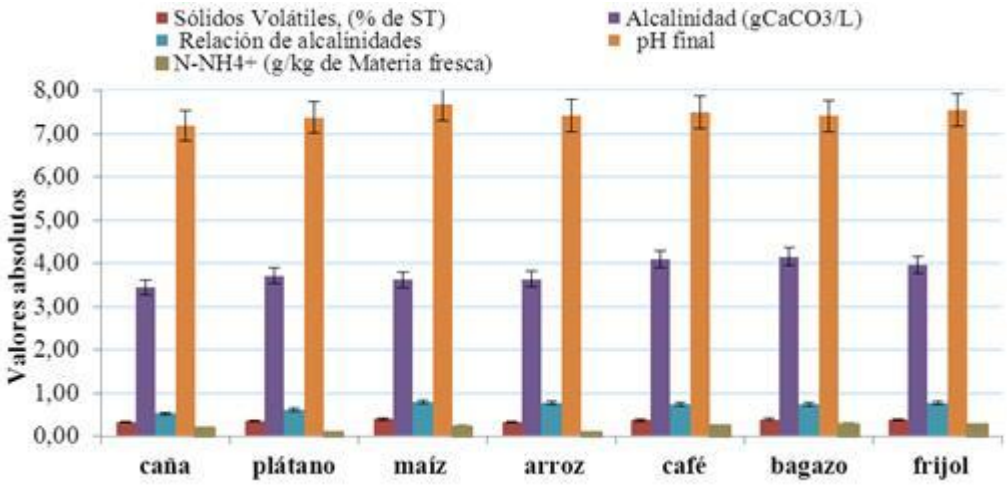

Fig. 4 Parámetros medidos al final de los experimentos.
Valores promedios de tres réplicas.

CONCLUSIONES

Se demostró la posibilidad de tratar por digestión anaerobia los residuos sólidos paja de caña, paja de arroz, paja de maíz, paja de plátano, paja de frijol, paja de café y bagazo de caña, generados en esta región de Cuba y utilizando como inóculo un lodo adaptado a estiércol porcino. Los valores del potencial de biogás (por encima de 150 L/KgSTV). Resultan alentadores para el uso de esta tecnología a mayor escala con fines energéticos. El inóculo analizado mostró mejor producción de biogás bajo condiciones mesofílicas que para los residuos porcino a los que está adaptado debido probablemente a la mejora en el balance de nutrientes y disponibilidad de estos a esta temperatura, introduciendo una nueva forma de tratar los residuales agroindustriales en variantes tecnológicas de Digestión Anaeróbica.

NOMENCLATURAS

ºC: grado Celsius
g: gramos
L: litro
mL: mililitro
ST: sólidos totales
SV: sólidos volátiles
SF: sólidos fijos
gSV/L: gramos de sólidos volátiles divididos por litro
AGVs: ácidos grasos volátiles
ktep: kilotoneladas equivalentes de petróleo
α: relación de alcalinidades
N-NH_4^+: nitrógeno en forma de amonio

BIBLIOGRAFIA

1. Campos, P., A., E. *Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo*, *mediante co-digestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria*. España. 2001.

2. Contreras Velázquez L. M., et al. "*Tratamiento anaerobio de paja de arroz mediante fermentación en estado seco*". República Dominicana. 2010.

3. Dinuccio E., et al. "*Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomasses"*. Bioresource Technology 101, 3780–3783. 2010.

4. López-González L. M., et al. "*Estimación de la producción de biogás con fines energéticos en la provincia Sancti Spíritus"*. 2005, Cuba.

5. Mata-Alvarez J, Mace S, Llabres P. "*Anaerobic digestion of organic solid wastes"*. Bioresource Technology 74, 3-16. 2000.

6. Nzila Charles, et al. "*Biowaste energy potential in Kenya"*. Renewable Energy 35, 2698-2704. 2010.

7. Oechsner H, Sigrid K. "*Neues von der Trockenfermentation".* 2006.

8. Weiland P. "*7th Meeting of IEA Bioenergy"*. Germany. 2007.

9. Jiménez J., et al. *"Anaerobic co-digestion from pig manure, rice straw and industrial clay residues".* México. 2010.

Recibido: Mayo 2012
Aprobado: Septiembre 2012

Lic. Edelbis López Dávila[I]*.* Profesor Investigador. Universidad de Sancti Spíritus. Cuba.