

## **Potencial de Biogás de la Fermentación Anaerobia de Residuos Sólidos de la Agroindustria Azucarera, utilizando Lodo Anaerobio de Estiércol Porcino.**

### **Potential of Biogas of the Anaerobic Fermentation of Solid Residues of the Sugar Agro-industry, using Anaerobic Pig Dung Mud.**

Edelbis López-Dávila<sup>1</sup>, Janet Jiménez<sup>1</sup>, Margarita E. Cisneros-Ortiz<sup>2</sup>, Osvaldo Romero-Romero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI), Universidad de Sancti Spíritus, Cuba; [eldavila@suss.co.cu](mailto:eldavila@suss.co.cu)

<sup>2</sup>Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

#### **Resumen**

Este trabajo se determinó el potencial de biogás contenido en la fermentación anaerobia mesofílica de los principales residuos sólidos agroindustriales de la caña de azúcar producidos en el central Uruguay de la provincia de Sancti Spíritus, utilizando como inóculo un lodo anaerobio de estiércol porcino. Los residuos evaluados fueron paja de caña y bagazo de caña. Se realizaron experimentos en lote, en botellas serológicas de 585mL, bajo condiciones mesofílicas ( $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). Se determinaron parámetros físico-químicos (STT, STV, pH, Alcalinidad) para evaluar la estabilidad de los procesos y se cuantificó la acumulación de AGVs y la producción de biogás. 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 lo cual se demostró la viabilidad del inóculo utilizado, para el arranque de digestores que traten estos residuos. Los valores obtenidos de potencial de biogás ( $259\text{-}273\text{ m}^3/\text{tonSV}$ ), resultan alentadores para el uso de esta tecnología a mayor escala con fines energéticos cuya generación total de energía eléctrica puede llegar a más de 150 GWh/año, y más de 230 GWh/año de energía térmica.

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

#### **Summary**

In this work the potential of the biogas from the mesophilic anaerobic fermentation of the main sugar cane agriculture and industrial solid wastes produced at the Sugar Mill "Uruguay" in Sancti Spíritus province was determined, using as inoculum an anaerobic sludge of porcine manure. The solid wastes evaluated were cane straw and cane bagasse. Batch experiments were carried out in serologic bottles of 585mL, under mesophilic conditions ( $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). Physical-chemical parameters were determined (TS, TVS, pH, Alkalinity) to evaluate the stability of the processes, and the accumulation of VFA and the biogas production were quantified. The results showed that the total biogas production from the digestion of the evaluated wastes was superior to that of the anaerobic digestion of manure as mono-substrate. This showed the viability of the inoculum used for the outburst of digesters treating this kind of wastes. The biogas potential

values achieved (259-273 m<sup>3</sup>/tonVS) are encouraging for the use of this technology for energetic purposes at a higher scale given the fact that the total generation of electric power can reach more than 150 GWh/year, and the thermal energy more than 230 GWh/year.

Key Words: anaerobic digestion, biogas potential, sugar cane solid wastes

## 1. Introducción

La fermentación anaerobia de residuos sólidos agroindustriales aprovechando su potencial para producir biogás resulta atractivo para la provincia de Sancti Spíritus donde pudo haber sustituido para el 2006, 4 kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep) por año (López-González *et al.*, 2006). En Cuba, donde la generación eléctrica depende en un 99% de los combustibles fósiles, reviste especial importancia el uso de esta tecnología anaerobia como fuente renovable de energía (Meneses, 1998). Además constituye una solución viable para reducir el volumen y concentración de materia orgánica de los residuos, mejorando la calidad de los desechos (Hobson, 1990)

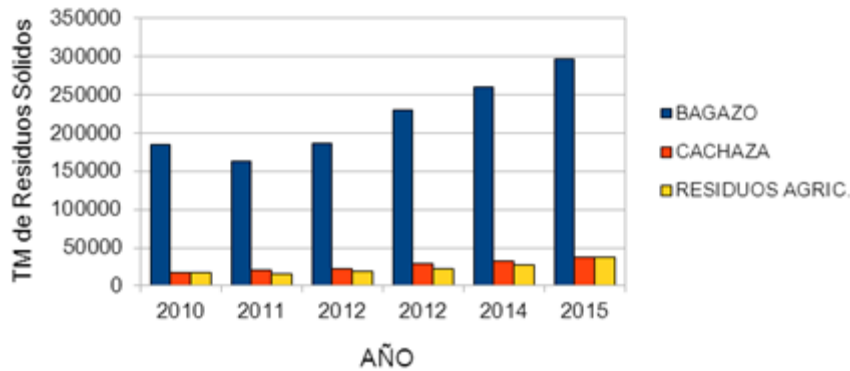
Para tratar residuos sólidos agrícolas se han desarrollado las tecnologías de fermentación en estado seco (Contreras-Velázquez *et al.*, 2010; Oechsner y Sigrid, 2006; Weiland, 2007), incluso se han diseñado reactores tipo para la fermentación de sólidos, como silage de maíz y otros cultivos energéticos (Oechsner and Sigrid, 2006; Weiland, 2007). Sin embargo estas tecnologías aún resultan muy costosas para países en vías de desarrollo como Cuba.

Los residuos agrícolas como la paja constituyen una biomasa orgánica con alto contenido de carbono y cuya degradación ha sido probada por varios autores (Mata-Álvarez 2001; Kalra y Panwar, 1986; Yu *et al.*, 2004; Mussatto *et al.*, 2008; Yanfeng *et al.*, 2008), 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 (Yu *et al.*, 2004). 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. 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 (Yanfeng *et al.*, 2008).

Diferentes tipos de residuos, principalmente de la industria agroalimentaria, se han estudiados como co-sustratos de residuos ganaderos. Ahring *et al.*, (1992) estudiaron la viabilidad de la co-digestión de estiércol con residuos de la elaboración de piensos donde debido al alto contenido en nitrógeno de este último, inicialmente se produce la inmediata inhibición del proceso de digestión anaerobia, aunque finalmente los microorganismos son capaces de adaptarse, 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) (Dar y Tandon, 1987), también la mezcla de residuales porcino con otras pajas residuales han dado resultados alentadores de potencial de metano (Masciandaro *et al.*, 1994). Los residuos de tomate mejoran la digestión del estiércol (Trujillo *et al.*, 1993), y la mezcla de residuos bovinos y residuos de frutas y verduras también fueron evaluados con resultados positivo de biogás por Callaghan *et al.*, (1999).

Para el caso de los residuales de la agroindustria azucarera se han realizado estudios para el tratamiento de vinazas y cachazas de destilerías adjuntas a centrales azucareros (López, 2000). El bagazo ha sido también reutilizado por la industria forestal para construcción de muebles de madera o es utilizado en el propio central azucarero para generación de energía calorífica. La paja de caña queda en el campo como cubierta vegetal, aunque en muchas ocasiones es incinerada por accidentes o mal manejo, puede ser utilizada con otros fines como alimento animal. De esta paja de caña un porciento elevado se recoge en los tándems y centros de limpieza o queda como residual agrícola que puede recolectarse en el campo sin afectar el 50% que queda como cobertura vegetal (Comunicación personal). En la fig. 1 se muestra la cantidad de residuos que genera la agroindustria azucarera del central Uruguay de la provincia de Sancti Spíritus como promedio por año.

## Residuales sólidos de la Industria azucarera



**Fig 1.** Residuos de la agroindustria azucarera en la provincia de Sancti Spíritus

Por ello en aras de lograr la gestión ecológica de estos residuos agroindustriales, aprovechando su potencial como biomasa orgánica para producir biogás, este trabajo consistió en determinar el potencial de biogás contenido en la fermentación anaerobia mesofílica de los principales residuos sólidos agroindustriales generados en la provincia de Sancti Spíritus, utilizando como inóculo un lodo anaerobio de estiércol porcino.

### 2. Materiales y métodos

#### 2.1 Procedencia del inóculo y los residuos.

Se utilizó como inóculo, un lodo proveniente de un reactor de laboratorio de 10L de mezcla completa alimentado con estiércol porcino. Los residuos agrícolas paja de arroz, paja de maíz, paja de plátano (hojas secas), paja de frijol y paja de café (cascara y pergamino) fueron colectados al azar en regiones agrícolas de la provincia de Sancti Spíritus. La paja de caña y el bagazo fueron colectada en el centro de limpieza y tándem de molienda, respectivamente, de la Industria azucarera (Central Uruguay) (Fig.1).

#### 2.2 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 ( $35 \pm 2^\circ\text{C}$ ) durante 25 días. Los controles utilizados fueron: el inóculo sin sustrato (B1), y la combinación inóculo-estiércol porcino (B2).



**Fig. 2.** Residuos de la agroindustria azucarera. A: paja de caña, B: bagazo de caña

#### 2.3 Técnicas analíticas.

Se determinaron los STT, STV y STF, el pH, la alcalinidad total y el nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) según los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995), para dar seguimiento a cada experimento. También se determinó á 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).

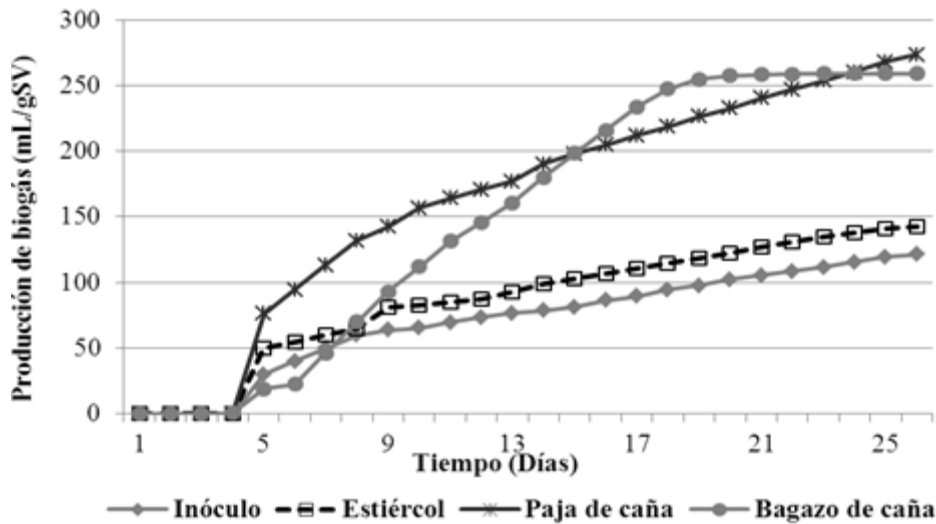
#### 2.4 Potencial de biogás.

La producción de biogás se determinó cada 24 horas, por desplazamiento de una columna de líquido (NaCl, al 5%) con la consecuente medición de la presión y la temperatura ambiental para normalizar la medición de biogás según Nzila et al., (2010). Posteriormente, para determinar el potencial de biogás se determinó el promedio de los máximos valores de rendimiento del biogás acumulado en cada botella (después de los 21 días de experimentación) definiendo así, un valor de potencial de biogás de cada residuo según su contenido de SV. Por otro lado, se investigaron las cantidades producidas de cada residuo en dicha provincia (tabla 1) con lo cual se estimó, utilizando los factores de conversión correspondientes (Nzila et al., 2010; Ribeiro and Silva, 2009) el potencial total de biogás de la provincia por año, así como la energía eléctrica y calórica teórica que puede aportar este biogás considerando que el poder calórico de este oscila entre 22.5 y 25 MJ/m<sup>3</sup> según Ribeiro and Silva, (2009) y asumiendo que un 30% de este produce energía eléctrica y el 45% produce energía térmica (Nzila et al., 2010).

### 3. Resultados y discusión

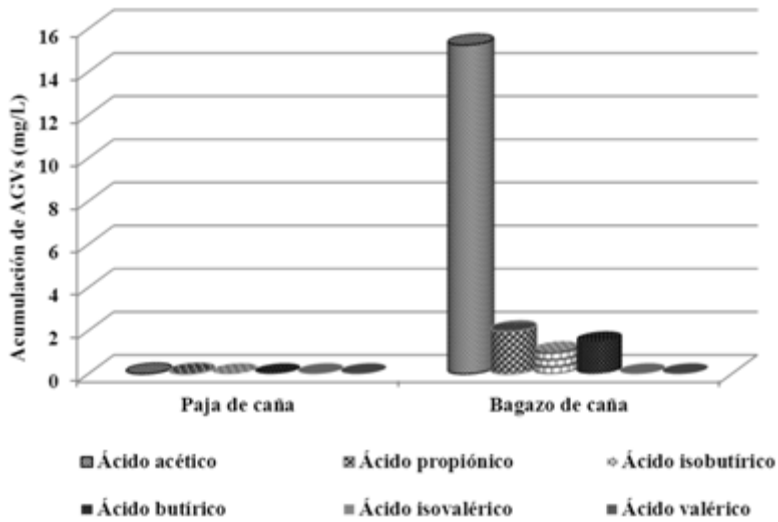
#### 3.1 Biodegradación anaerobia de los residuos. Potencial de biogás

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. 3), similar a lo obtenido por Campos (2001) y Jiménez *et al.*, (2010), en experimentos de co-digestión de estiércol porcino y residuos orgánicos de la producción de aceite de oliva y residuos arroceros, respectivamente. Los mejores valores se obtuvieron para la paja caña, ya que logra un arranque más rápido del sistema, estos resultados coinciden con lo reportado en la literatura (Dinuccio *et al.*, 2010; Nzila *et al.*, 2010) utilizando como inóculo lodo anaerobio de estiércol vacuno.



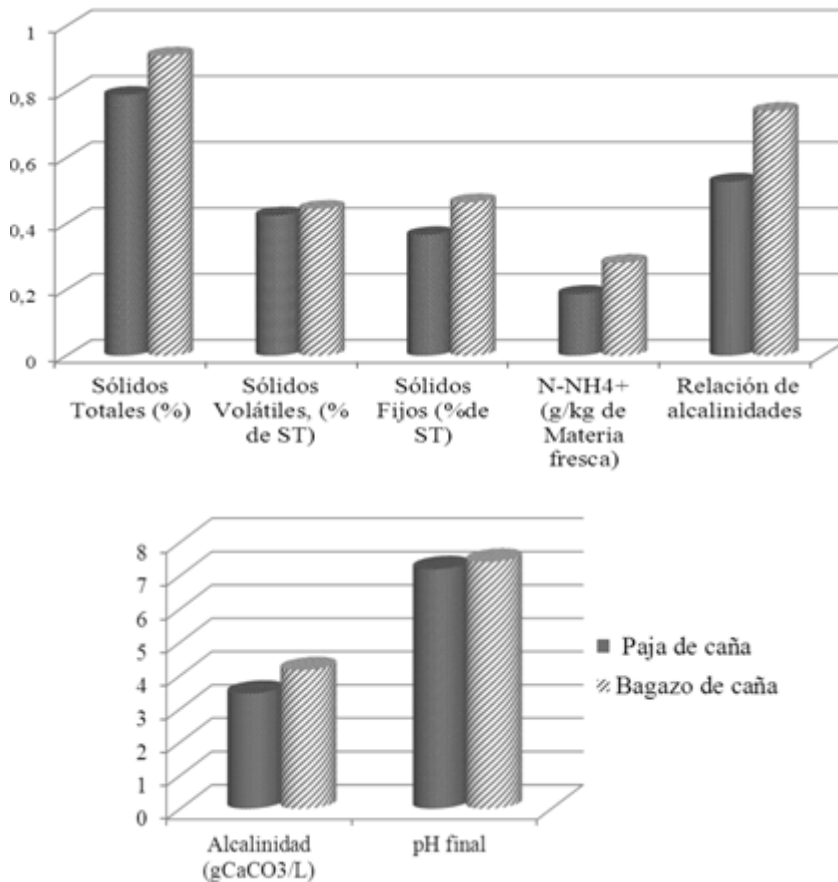
**Fig 3.** Producción acumulada de biogás de la digestión anaerobia de los residuos utilizando como controles el inóculo sin sustrato y la digestión anaerobia sólo de estiércol.

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.4).



**Fig 4.** Acumulación de AGVs al final del experimento. Valores promedios de tres réplicas.

Los demás parámetros evaluados al final de los experimentos: pH, alcalinidad, relación de alcalinidades y sólidos totales, sólidos volátiles, nitrógeno amoniacal, fueron similares (Fig. 4) aunque los valores de alcalinidad resultaron ligeramente altos.



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

**3.3 Aprovechamiento energético de los residuos.** Estimación de la energía eléctrica y calorífica que puede generarse.

Los máximos valores de producción total de biogás (Fig. 3) obtenidos después de los 21 días de experimentación fueron utilizados para determinar el potencial real de estos residuos teniendo en cuenta su producción y disponibilidad en toneladas por año en la provincia de Sancti Spíritus.

La tabla 1, muestra los valores del potencial total de biogás en m<sup>3</sup> basado en la producción total de residuo y su rendimiento de biogás obtenido en este estudio, cuyos valores resultan alentadores para fines energéticos si se considera la conversión teórica descrita en la metodología (Nzila et al., 2010; Ribeiro and Silva, 2009). Los valores del rendimiento de biogás respecto a las toneladas de residuos utilizado, son comparables con los reportados en la literatura (Oria-Gómez 2010; Dinuccio et al., 2010; Nzila et al., 2010).

**Tabla 1** Potencial de biogás de los residuos según la producción de caña en 2011. Energía eléctrica y calorífica estimada.

Residuos	Producción del residuo (ton/año)	SV en materia fresca (%)	Rendimiento biogás (m <sup>3</sup> /tonSV)	Producción total biogás (m <sup>3</sup> /año)	GWh de electricidad/año	GWh de calor/año
Paja de caña	1,66E+04*	78,6	273,5	3,56E+06	6,9-7,6	10,3-11,4
Bagazo de caña	3,47E+05	76,3	259,3	6,87E+07	132-147	198-220

\*paja de caña que se recoge en los tándem y centros de limpieza o que queda como residual agrícola que puede recolectarse en el campo sin afectar el 50% que queda como cobertura vegetal.

### Conclusiones

Se demostró la posibilidad de tratar por digestión anaerobia los residuos sólidos paja de caña, y bagazo de caña, generados en esta región de Cuba y utilizando como inóculo un lodo de estiércol porcino. El inóculo analizado mostró mejor producción de biogás, bajo condiciones mesofílicas, respecto a 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.

Los valores del potencial de biogás (259-273 m<sup>3</sup>/tonSV), resultan alentadores para el uso de esta tecnología a mayor escala con fines energéticos cuya generación total de energía eléctrica a partir de estos residuos puede llegar a más de 150 GWh/año, y más de 230 GWh/año de energía térmica.

### Bibliografía

- Ahring B.K., Angelidaki I., Johansen K. Anaerobic treatment of manure together with industrial waste. *Water Science Technology*, 25 (7), (1992), 311-318.
- Callaghan, F.J., Wase D.A.J., Thayanithy K., Forster C.F. Co-digestion of waste organic solids: batch studies. *Bioresource technology*. 37, (1999), 117-122.
- Campos, P. A. E. Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo, mediante co-digestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. Tesis doctoral. Universitat de Lleida. Lérida, España. Copyright deposit: L-1212-2006. ISBN: 8469008463, (2001).
- Contreras V. L. M., et al. Tratamiento anaerobio de paja de arroz mediante fermentación en estado seco. *Memorias XXXVII Congreso Latinoamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Punta Cana. República Dominicana. (2010).
- Dar G.H., Tandon, S.M. Biogas production from pretreated wheat straw, lantan residue, apple and peach leaf litter with cattle dung. *Biological wastes*. 21, (1987). 75-83.
- Dinuccio E., et al. Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomass. *Bioresource Technology* 101, (2010). 3780–3783.
- Hobson, P.N. The treatment of agricultural wastes, *En Anaerobic digestion: a waste treatment technology*. Editado por Wheatley, A. Critical reports on applied chemistry. Elsevier applied science LTD. 31, (1990). 93-138.

Jiménez J., et al. Anaerobic co-digestion from pig manure, rice straw and industrial clay residues. 12<sup>nd</sup> World Congress on Anaerobic Digestion. Guadalajara. Mexico. (2010).

Kalra, M. S. and Panwar, J. S. Anaerobic digestion of Rice Crop Residues. *Agricultural Wastes* **17**, (1986). 263-269.

López-González L. M., et al. Estimación de la producción de biogás con fines energéticos en la provincia Sancti Spíritus”. *Memorias Evento Internacional Entorno Agrario UNISS, Cuba.*(2006).

Masciandaro, G., Ceccanti, B., García, C. Anaerobic digestion of straw and piggery wastewaters:II. Optimization of the process. *Agrochimica*, 38 (3), (1994). 195- 203.

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

Matilde López Torres. Procedimiento de pre tratamiento para mejorar la digestión anaerobia de residuos sólidos. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. Centro Nacional de Investigaciones Científica. Ciudad de la Habana, (2000).

Meneses, R. E., Pérez, M. D. Establecimiento y evaluación de indicadores de desarrollo sostenible en la electroenergética cubana .*Conferencia Internacional Etica y Cultura del Desarrollo: Construyendo una economía Sostenible.* (1998).

Mussatto, S.I., et al. Effect of hemicellulose and lignin on enzymatic hydrolysis of cellulose from brewer’s spent grain. *Enzyme Microb. Technol.* 43, (2008). 124–129.

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

Oechsner H, Sigrid K. *Neues von der Trockenfermentation. Bioenergienutzung in Baden-Württemberg, Stuttgart, Deutschland.* (2006).

Oria-Gómez Yaima. Procedimiento para localizar planta y conformar la red logística de la producción de biogás en la Provincia de Sancti Spíritus. Tesis de Maestría en Ingeniería (Industrial). Universidad Central de Las Villas. Cuba. (2010).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.(1995).

Trujillo, D., Pérez, J.F., Cebreros, F.J. Energy recovery from wastes. Anaerobic digestion of tomato plant mixed with rabbit wastes. *Bioresource Technology.* 45,(1993). 81-83.

Weiland P. 7th Meeting of IEA Bioenergy TASK 37. Country updates: Germany. Federal Agricultural Research Center (FAL). Institute of Technology and Biosystem Engineering. Berlin/Germany. (2007).

Yanfeng H, et al. Physicochemical Characterization of Rice Straw Pretreated with Sodium Hydroxide in the Solid State for Enhancing Biogas Production. *Energy Fuels*, 22, 4,(2008). 2775–2781.

Yu, et al. Co-digestion of lignocellulosics with glucose using thermophilic acidogen. *Biochemical Engineering Journal* 18, (2004). 225–229.