

Editada por el Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET Pinar del Río

Vol. 18, No.4, octubre-diciembre, 2016

## ARTÍCULO ORIGINAL

### Metodología para obtención de biogás a partir de residuos de cosechas del arroz utilizando como inóculo aguas residuales

#### *Methodology for obtaining biogas from waste rice crops using wastewater as inoculum*

José Alberto Díaz Iglesia<sup>1</sup>, Alexander Miranda Caballero<sup>2</sup>, Eduardo José Almirall Romero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Electrónico de la Empresa provincial de mantenimiento Vial. Km 2½ carretera Luis Lazo, Pinar del Río, Cuba. Teléfono (53) 48-753703 Correo electrónico: [jose@epmvpr.co.cu](mailto:jose@epmvpr.co.cu)

<sup>2</sup>Doctor en Ciencias Agrícolas. Director de la Unidad Científico Tecnológica Los Palacios. Km1½ carretera Sierra Maestra Los Palacios Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: [alex@inca.edu.cu](mailto:alex@inca.edu.cu)

<sup>3</sup>Doctor en Ciencias Químicas. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba. Calle Martí 270 final, Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: [ealmirall@upr.edu.cu](mailto:ealmirall@upr.edu.cu)

---

## RESUMEN

El trabajo presenta el desarrollo de una metodología dirigida al aprovechamiento de las potencialidades energéticas con la tecnología del biogás, para ello se trazó como objetivo de la investigación determinar el potencial de los residuales sólidos del proceso productivo del arroz como sustrato y biol residual de la planta de tratamiento de aguas residuales como inóculo, para ser utilizados en el proceso de digestión anaeróbica. La metodología comprende, en primer orden el desarrollo de un diagnóstico de la producción de arroz, la generación de residuales del proceso productivo, las potencialidades para su tratamiento mediante la digestión anaerobia, la producción de surtidos de alto valor agregado como el biogás con fines energéticos y biofertilizantes, para el tratamiento de los suelos. Se realizó además la caracterización físico-química de los residuales del arroz y el diseño de un reactor de mezcla completa con agitación continua y recirculación de 20 m<sup>3</sup> utilizando la mezcla de paja de arroz, cáscara y otros residuales del proceso de secado del arroz (cascarillas y polvo) como sustrato y un biol residual efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales como inóculo. La metodología implementada en la Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios permitió aseverar en primera instancia su validez para la remoción de residuales y mitigar sus efectos medio ambientales, así como la generación de subproductos de alto valor agregado, como el biogás con fines energéticos y el biol residual efluente como biofertilizante de la tierra cultivable en las tierras cultivables.

**Palabras clave:** Biogas, Residuos de cosechas, Residuales líquidos, Metodología.

## ABSTRACT

The paper presents the development of a methodology aimed at harnessing the energy potential in biogas technology, for it was drawn aim of research to determine the potential of solid waste in the production process of rice as a substrate and residual biological plant wastewater treatment as inoculum for use in the anaerobic digestion process. The method comprises, first by developing a diagnosis of rice production, the generation of waste in the production process, the potential for treatment by anaerobic digestion, production of assortments of high added value such as biogas for energy purposes and biofertilizers for soil treatment. physico-chemical residual rice and designing a mixed reactor with continuous agitation and recirculation of 20 m<sup>3</sup> using the mixture of rice straw, husk and other waste of drying rice (husk characterization was also performed and powder) as a substrate and a residual biological effluent treatment plant wastewater as inoculum. The methodology implemented in the Scientific Technological Base Unit Los Palacios, allowed to assert in the first instance its validity for the removal of waste and mitigate their environmental impacts and the generation of products of high added value, such as biogas for energy purposes and biological waste effluent as biofertilizer of arable land arable land.

**Key words:** Biogas, Crop residues, Waste liquids, Methodology.

---

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los mayores desafíos al que deberá responder la humanidad en los próximos años, el incremento de las temperaturas resultado de la emisión de gases efecto invernadero (GEI) está asociado al deshielo de los glaciares, multiplicación de la sequía y las inundaciones en determinadas zonas (Wissenschaftlicher, 2009).

En ocasiones, algunas de las soluciones que se proponen a este fenómeno presentan ahorros sustanciales, como pueden ser la mejora de la eficiencia energética, la promoción de fuentes renovables de energía (FRE), la aplicación de políticas energéticas, de calidad del aire y la recuperación del metano, entre otras. Con todo esto, se pretende alcanzar los objetivos de reducir en un 20% las emisiones de los GEI con miras al año 2020, derivado del compromiso adoptado por las diferentes naciones en el protocolo de Kyoto, donde se cita al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), como los gases responsable del efecto invernadero (Protocolo de Kyoto, 1998).

La matriz energética mundial se basa fundamentalmente en el uso de los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural). En el año 2014, la matriz energética mundial estaba formada por un 86,7 % de combustibles fósiles y un 13,3 % de FRE. El caso particular de Cuba se corresponde con el contexto internacional, el 95,7 % le concierne al uso combustible fósil y el 4,3 % a FRE (Weinland et al, 2010).

En tal sentido, en el año 2012, se constituye en Cuba la Comisión Gubernamental para atender el "Uso y Desarrollo de las Fuentes Renovables de Energía y la Eficiencia Energética, y en junio de 2014 se elaboró la Política de Eficiencia, Energía y Fuente Renovable de Energía hasta el año 2030, en la cual se propone reducir la matriz energética en relación al uso de combustibles fósiles a un 86 % e incrementar a un 24 % las FRE (Moreno, 2014).

En este contexto muchos son los esfuerzos para desarrollar nuevas tecnologías que permitan capturar el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> que se emiten en los procesos de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El aprovechamiento de las FRE de bajos costos, la reducción de los altos volúmenes de residuales contaminantes que propicien la obtención de subproductos de altos valor de uso, biogás y un biol residual efluente, constituye un reto que la comunidad científica que debe enfrentar con urgencia (Zhu et al., 2009).

En tal sentido, el sector agrícola tiene gran incidencia en las emisiones de GEI, siendo responsables del 14% de las emisiones globales de estos gases. Los desechos que generan los procesos productivos de los diferentes cultivos agrícolas energéticos y las excreta animales constituyen en muchos casos las principales fuentes con mayor incidencia en la calidad del medio ambiente (EEA, 2006). La digestión anaerobia es un proceso idóneo para llevar a cabo el tratamiento de estos residuales, pues esto permite el aprovechamiento energético del metano que se produce mediante este proceso (gas con un potencial de calentamiento global 25 veces mayor que el CO<sub>2</sub>), lo que supone una doble ventaja ambiental, por un lado reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente a la atmósfera, la obtención de un biofertilizante para el tratamiento de la fertilidad de los suelos, y por el otro, permite la obtención de energía a partir de una fuente renovable.

El uso de los procesos de digestión anaerobia para los residuos agrícolas y líquidos industriales para producir metano se ha incrementado debido a su bajo costo, y las producciones crecientes, que pueden equilibrar el contenido de nutrientes en plantas de tratamiento de cogestión anaerobia (Mata-Álvarez et al., 2000; Campos, 2001).

Es por ello, que los residuos orgánicos y cultivos energéticos constituyen una fuente potencial de biomasa para el proceso de digestión anaerobia. Entre los residuos agrícolas, la paja constituye un sustrato interesante para la producción de biogás, sin embargo, su composición lignocelulósica y bajo contenido de elementos trazas dificulta la degradación en condiciones anaerobias, (Sun et al., 2013). Estas características estructurales de los residuales lignocelulósicos implican la necesidad de pre-tratamientos de la biomasa de partida, procesos de co-digestión que impliquen el uso de otros sustratos, el control de parámetros termodinámicos y cinéticos relacionados con la biodegradabilidad y la velocidad de las reacciones bioquímicas, entre otros factores para incrementar el rendimiento en la producción de biogás .

En tal sentido, el estudio del proceso de digestión anaeróbica de residuales agroindustriales sólidos del proceso productivo del arroz constituye una temática en que aún subsisten aspectos por esclarecer, a pesar de las diferentes formas, procedimientos y vías de acercamientos a la temática en la actualidad, especialmente al proceso de digestión anaerobia cuando este residual es utilizado como único sustrato.

La literatura científica reporta trabajos en que los residuales sólidos del arroz son empleados en procesos de co-digestión aeróbica con otros sustratos, como la excreta animal, aumentando hasta niveles idóneos la relación carbono \_ nitrógeno (C/N), mejorando el rendimiento y eficiencia del proceso tecnológico de producción de biogás,

(Kalra et al., 1986). Otros estudios publicados, han sido enfocados al pre-tratamiento físico, químico y enzimático del residual sólido lignocelulósico antes de ser sometido al proceso de digestión anaeróbica, con la finalidad de incrementar la eficiencia tecnológica en la producción de biogás, (Lei et al., 2010). El cambio climático es uno de los mayores desafíos al que deberá responder la humanidad en los próximos años, el incremento de las temperaturas resultado de la emisión de gases efecto invernadero (GEI) está asociado al deshielo de los glaciares, multiplicación de la sequía y las inundaciones en determinadas zonas (Wissenschaftlicher, 2009)

En ocasiones, algunas de las soluciones que se proponen a este fenómeno presentan ahorros sustanciales, como pueden ser la mejora de la eficiencia energética, la promoción de fuentes renovables de energía (FRE), la aplicación de políticas energéticas, de calidad del aire y la recuperación del metano, entre otras. Con todo esto, se pretende alcanzar los objetivos de reducir en un 20% las emisiones de los GEI con miras al año 2020, derivado del compromiso adoptado por las diferentes naciones en el protocolo de Kyoto, donde se cita al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), como los gases responsable del efecto invernadero (Protocolo de Kyoto, 1997).

La matriz energética mundial se basa fundamentalmente en el uso de los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural). En el año 2014, la matriz energética mundial estaba formada por un 86,7 % de combustibles fósiles y un 13,3 % de FRE. El caso particular de Cuba se corresponde con el contexto internacional, el 95,7 % le concierne al uso combustible fósil y el 4,3 % a FRE. (González *et al.*, 2008; Weinland, 2010).

En tal sentido, en el año 2012, se constituye en Cuba la Comisión Gubernamental para atender el "Uso y Desarrollo de las Fuentes Renovables de Energía y la Eficiencia Energética, y en junio de 2014 se elaboró la Política de Eficiencia, Energía y Fuente Renovable de Energía hasta el año 2030, en la cual se propone reducir la matriz energética en relación al uso de combustibles fósiles a un 86 % e incrementar a un 24 % las FRE (Moreno, 2014).

En este contexto muchos son los esfuerzos para desarrollar nuevas tecnologías que permitan capturar el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> que se emiten en los procesos de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El aprovechamiento de las FRE de bajos costos, la reducción de los altos volúmenes de residuales contaminantes que propicien la obtención de subproductos de altos valor de uso, biogás y un biol residual efluente, constituye un reto que la comunidad científica que debe enfrentar con urgencia (Zhu *et al.*, 2009).

En tal sentido, el sector agrícola tiene gran incidencia en las emisiones de GEI, siendo responsables del 14% de las emisiones globales de estos gases. Los desechos que generan los procesos productivos de los diferentes cultivos agrícolas energéticos y las excreta animales constituyen en muchos casos las principales fuentes con mayor incidencia en la calidad del medio ambiente (EEA, 2006). La digestión anaerobia es un proceso idóneo para llevar a cabo el tratamiento de estos residuales, pues esto permite el aprovechamiento energético del metano que se produce mediante este proceso (gas con un potencial de

calentamiento global 25 veces mayor que el CO<sub>2</sub>), lo que supone una doble ventaja ambiental, por un lado reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente a la atmósfera, la obtención de un biofertilizante para el tratamiento de la fertilidad de los suelos, y por el otro, permite la obtención de energía a partir de una fuente renovable.

El uso de los procesos de digestión anaerobia para los residuos agrícolas y líquidos industriales para producir metano se ha incrementado debido a su bajo costo, y las producciones crecientes, que pueden equilibrar el contenido de nutrientes en plantas de tratamiento de cogestión anaerobia (Mata-Álvarez *et al.*, 2000; Campos, 2001).

Es por ello, que los residuos orgánicos y cultivos energéticos constituyen una fuente potencial de biomasa para el proceso de digestión anaerobia. Entre los residuos agrícolas, la paja constituye un sustrato interesante para la producción de biogás, sin embargo, su composición lignocelulósica y bajo contenido de elementos trazas dificulta la degradación en condiciones anaerobias, (Sun *et al.*, 2013). Estas características estructurales de los residuales lignocelulósicos implican la necesidad de pre-tratamientos de la biomasa de partida, procesos de co-digestión que impliquen el uso de otros sustratos, el control de parámetros termodinámicos y cinéticos relacionados con la biodegradabilidad y la velocidad de las reacciones bioquímicas, entre otros factores para incrementar el rendimiento en la producción de biogás .

En tal sentido, el estudio del proceso de digestión anaeróbica de residuales agroindustriales sólidos del proceso productivo del arroz constituye una temática en que aún subsisten aspectos por esclarecer, a pesar de las diferentes formas, procedimientos y vías de acercamientos a la temática en la actualidad, especialmente al proceso de digestión anaerobia cuando este residual es utilizado como único sustrato.

La literatura científica reporta trabajos en que los residuales sólidos del arroz son empleados en procesos de codigestión aeróbica con otros sustratos, como la excreta animal, aumentando hasta niveles idóneos la relación carbono \_ nitrógeno (C/N), mejorando el rendimiento y eficiencia del proceso tecnológico de producción de biogás, (Kalra *et al.*, 1986). Otros estudios publicados, han sido enfocados al pre-tratamiento físico, químico y enzimático del residual sólido lignocelulósico antes de ser sometido al proceso de digestión anaeróbica, con la finalidad de incrementar la eficiencia tecnológica en la producción de biogás, (Lei *et al.*, 2010).

Donde para la investigación el problema es que no se hace un uso adecuado de los residuales sólidos del proceso productivo del arroz en la Unidad Científico Tecnológica de Base (UCTB) Los Palacios, como fuente potencial para la producción de surtidos de alto valor agregado: biogás como portador energético y biofertilizantes.

Por todo lo anterior el objetivo fue determinar el potencial de los residuales sólidos del proceso productivo del arroz como sustrato y del biol residual de la planta de tratamiento de aguas residuales como inóculo, para ser utilizados en el proceso de digestión anaeróbica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del estudio se tomó como referencia la metodología aplicada por la Empresa Agroindustrial de Granos "Sur del Jíbaro" en la provincia de Sancti Spíritus (Contreras, 2013). El caso de estudio contempla parámetros similares a los referenciados en la Empresa de Granos "Sur del jíbaro".

La Investigación se realizó un a partir de un diagnóstico para determinar el potencial de residuos lignocelulósicos generados durante el proceso productivo del arroz, así como de los volúmenes del residual efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en la en la Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios" así como se obtuvo la caracterización físico-química de los residuales totales del proceso productivo del arroz (paja de arroz, cáscara de arroz, residuos del proceso de secado) como sustrato en los laboratorios de química del departamento de química de la UPR. Se realizaron los cálculos de la relación inóculo/sustrato, de la relación Carbono/Nitrógeno (C/N), así como del potencial de biogás de los residuos del arroz, que permitieran el diseño de un biodigestor de mezcla completa para la producción de subproductos de alto valor agregado, biogás y el biol residual efluente como biofertilizante, todo como parte de una metodología diseñada para la digestión anaeróbica de los residuales del proceso productivo del arroz en la Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios", realizando diferentes etapas como se relaciona:

1. Caracterización del área objeto de estudio (Municipio Los Palacio como principal territorio productor de arroz en la provincia pinareña, y la Unidad científico tecnológica de base "Los Palacios", como área objeto de estudio dentro del referido municipio).
2. Determinación de las potencialidades de residuos lignocelulósicos (sustrato) y de residuales líquidos (inóculo), con que cuenta el área objeto de estudio para ser sometidos al proceso de biodigestión anaeróbica propuesto)
3. Caracterización físico- química de los residuos lignocelulósicos.
4. Cálculos de la relación inóculo/sustrato, de la relación Carbono/Nitrógeno (C/N), así como del potencial de biogás de los residuos del arroz disponibles en el estudio.
5. Propuesta del bioreactor adecuado para las condiciones de trabajo existentes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La *tabla*, muestra la caracterización fisicoquímica de los residuales del arroz: paja de arroz, cáscara de arroz y residuo del proceso de secado, realizados durante el diagnóstico en los laboratorios de la Universidad de Pinar del Río y validados por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.

**Tabla.** Caracterización de los residuales de arroz de la UCTB Los Palacios, 2015.

Parámetros	Paja	Cáscara	Residuo de secado
Humedad	9.3%	9.0%	10.0%
Sólido volátiles	76.3%	75.3%	75,1%
Ceniza	8.1%	10.2	10.5
Carbono fijo	6.3%	5.5%	4.4 %
Material lignocelulósico	32%	37.8%	31%
Nitrógeno	0.86%	0.34%	1.1%
Azufre	0.15%	0.02%	0.18%
Hidrógeno	4.99%	4.6%	4.4%
Relación C/N	43	99	33

**Fuente:** Elaboración Propia

Los resultados obtenidos para el contenido de los componentes lignocelulósicos (celulosa, hemicelulosa y lignina) de las muestras de la entidad estudiada se encuentran en el intervalo del 30-40 %, los cuales son coincidentes con los obtenidos por Contreras (2013) para muestras de arroz de la empresa "Sur del Jíbaro" de la provincia de Sancti Spíritus, los cuales se encuentran en el rango del 30 \_ 50% para dichos componentes, especialmente para el caso de la lignina (molécula grande y muy compleja, de difícil degradación) en la cascara de arroz, para un elevado 37.8%, lo cual le aporta resistencia estructural adicional a este material precursor, y por consiguiente constituye una barrera para la digestión anaeróbica de este precursor de forma independiente.

La relación Carbono-Nitrógeno es de 43, 99 y 33 para los casos de la paja de arroz, cáscara y residuales del proceso de secado respectivamente para las muestras de estos residuos provenientes de la unidad Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios. Estos resultados son superiores al intervalo óptimo (20:1 - 30:1) que plantea la literatura para un buen desempeño del proceso de digestión anaeróbica (Weiland, 2001). Esto permite asegurar la presencia de un precursor con potencialidades para la producción de biogás a través de la digestión anaeróbica y un inóculo formado por el lodo residual estabilizado de la planta de tratamiento de aguas residuales.

La Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios", produce 34.8 t de arroz por año como promedio de las cosechas comprendidas en el período 2013-2015, generando un potencial de residuales lignocelulósicos promedio de 54.4 t, no obstante, no se dispone en primer orden de una alternativa tecnológica adecuada para la remoción de residuales a través de una tecnología de digestión anaeróbica capaz no solo de remover los residuales lignocelulósicos, sino también los lodos residuales del proceso de tratamiento de aguas residuales y de aportar subproductos de alto valor agregado (biogás y biol residual efluente para el tratamiento de la fertilidad de los suelos).

Los residuales del proceso productivo del arroz son utilizados fundamentalmente como alimento animal y en algunas ocasiones como combustible para la cocción de alimentos.

El residual del proceso productivo del arroz en su conjunto (paja, cascara, polvo de arroz) puede ser utilizado como sustrato en un proceso de digestión anaeróbica.

El lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios", puede ser utilizado como inóculo en el proceso de digestión anaeróbica.

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos del diagnóstico demostraron que los residuales generados del proceso productivo del arroz de 54.4 t como promedio en las últimas tres cosechas, así como el biol residual efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, constituyen un significativo potencial de biogás, del cual no se hacía uso.
- Se estableció una metodología para la remoción de la mezcla del residual del proceso productivo del arroz (paja, cáscara y residuales del proceso de secado), la cual parte de la determinación del potencial de residuales disponibles del proceso agroindustrial del arroz, de la caracterización físico-química de estos residuos, la determinación de la relación sustrato/inoculo, así como del establecimiento de los parámetros operacionales fundamentales para un biodigestor que favorezca el proceso de digestión anaeróbica de estos residuales.
- Los resultados de la metodología a escala de laboratorio permitieron aseverar en primera instancia su validez para la remoción de residuales y mitigar sus efectos medio ambientales, así como la generación de subproductos de alto valor agregado, como el biogás con fines energéticos y el biol residual efluente como biofertilizante de la tierra cultivable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcayata, S., Gloria, J., Guerrero, L. (1999). *Las relaciones C/N en el orden de 20:1 hasta 30:1 en las biomásas residuales son aceptable para la producción de biogás con buenos rendimientos*. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaiso, Chile. 11p. Recuperado de: <http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/ALCAYAGA1c.pdf>
- Bérriz, L. (2008). Las Energías renovables en Cuba. *Revista CUBASOLAR*, (6), 15-17
- Contreras, L. (2013). *Digestión anaeróbica de residuos de la Agroindustria arrocera cubana para la producción de biogás*. (Tesis en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez"). p.559-565.
- Chacón Guardado, J.A. (2007). Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. *CUBASOLAR*, (16), 1-15.
- Kalra, M.S. y Panwar J.S. (1986). Digestion of Rice Crop Residues. *Agricultural Wastes*, 17, 263-269.



- Linares, O. y Meneses, C. (2011). *Comunicación personal con el Director y subdirector de Industria sobre niveles de producción e incidencia de los desechos*: Complejo Agroindustrial Arrocerero CAI "Sur del Jíbaro". Sancti Spiritus, Diciembre 2011.
- Lesteur, M., Bellon-Maurel, V., Gonzalez, C., et al. (2010). Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: A review. *Process Biochemistry*, 45, 431-440
- Mata-Alvarez, J. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74, 3-16.
- Moreno Figueredo, C. (2014). La transición energética en Cuba. Recuperado de: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia70/HTML/Articulo04.htm>
- Mumme, J., Linke, B., Tölle R. (2010). Novel upflow anaerobic solid-state (UASS) reactor Bioresour. *Technology*, 101, 592-599.
- Naciones Unidas (1998). *Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Artículo 3. p.3
- Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. Mini-review. *Appl Microbiol Biotechnol*, 85, 849-860.
- Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (2009). *Climate change: Why 2°C?* Berlin. ISBN 3-936191-33-6.
- Zhu, B., Gikas, P., Zhang, R., Lord, J., Jenkins, B., Li, X. (2009). Characteristics and biogas production potential of municipal solid wastes pretreated with a rotary drum reactor. *Bioresour. Technology*, 100, 1122-1129.

Recibido: septiembre 2016

Aprobado: noviembre 2016

**Ing. José Alberto Díaz Iglesia.** Empresa provincial de mantenimiento Vial. Km 2½ carretera Luis Lazo, Pinar del Río, Cuba. Teléfono (53) 48-753703 Correo electrónico: [jose@epmvpr.co.cu](mailto:jose@epmvpr.co.cu)