



## Use of basic and specific pre-treatments for the biogas production. Revision and analysis

### *Utilización de pre-tratamientos básicos y específicos para la producción de biogás. Revisión y análisis*

Dr.C. Carlos M. Martínez Hernández, Dr. M.VC. Yaser García López

Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara. Villa Clara. Cuba.

**ABSTRACT.** The present investigation is based on the importance of national and international biogas plants nowadays, which use animal manure as raw material; as well as agricultural and agribusiness residues for energy and biofertilizers production, minimizing the aspects of environmental contamination. This work is presented in three parts: firstly the technologies and methods to apply the basic and special pre-treatments to different biomasses in order to obtain their maximum potential of methane are described. Secondly, their particularities are detailed and finally, their possible utilization in the Cuban case is analyzed. As a result, it is shown the state of the art in the use of basic and special pre-treatments, to potentiate the increasing of methane production in agricultural or animal biomasses.

**Keywords:** biogas; basic pre-treatments; special pre-treatments.

**RESUMEN.** Teniendo en cuenta la importancia que tiene hoy en día la utilización de plantas de biogás a escala nacional e internacional, las cuales utilizan como materia prima excretas de origen animal; así como residuos agrícolas y agroindustriales para la producción de energía y biofertilizantes, minimizando los aspectos de contaminación medioambiental. Este trabajo se presenta en tres partes, en las cuales: primeramente se describen las tecnologías y los métodos para aplicar los pre tratamientos básicos y especiales a las diferentes biomásas con vistas a obtener su máximo potencial de metano. Una segunda parte donde se aborda las particularidades para llevar a efecto los mismos. Finalmente, una tercera parte donde se analiza su posible utilización en el caso cubano. Como resultado del mismo, se muestra el estado del arte en la utilización de pre tratamientos básicos y especiales, con el objetivo de potenciar el aumento de la producción de metano en biomásas de origen agrícola o animal.

**Palabras clave:** biogás; pre-tratamientos básicos; pre-tratamientos especiales.

## INTRODUCTION

The anaerobic digesters were initially designed for the treatment of black waters, sewers and excrete of animal origin. However, these substrates are not those of more potential in this field. At present there is a great quantity of substrates that can be used such as agricultural residues, others from industrial food production, residues of animal origin, residues from taverns, restaurants, municipal solid residues like fat, oils and domestic residuals, among others. The composition of the substrates is the main factor to determine the yield and methane potential. Most of the bibliographical sources report that the differences in the kinetics, potential and methane yield depend on the type of substrate utilized. They outline that the usage of pretreatment on them, such as: mechanic reduction, treatment with heat and chemical treatment can improve the digestibility of these. The

## INTRODUCCIÓN

Los digestores anaeróbicos fueron inicialmente diseñados para el tratamiento de las aguas negras, cloacales y las excretas de origen animal. Sin embargo estos sustratos no son los de mayor potencial en este campo, en estos momentos existen una gran cantidad de sustratos que pueden ser utilizados tales como residuos agrícolas, de la producción de alimentos industriales, residuos de origen animal, residuos de cantinas, de restaurantes, residuos sólidos municipales, grasas, aceites, residuos domésticos entre otros. La composición de los sustratos es el factor principal para determinar el rendimiento y potencial de metano. La mayoría de las fuentes bibliográficas reportan que las diferencias en la cinética, potencial y rendimiento de metano están en dependencia del tipo de sustrato utilizado. En esta misma dirección plantean que el empleo de pre tratamiento en los mismos tales como: reducción mecánicas, tratamiento con calor

objective of using pretreatments is to modify the complex structure of these materials (usually cellulose), to reduce the polymerization grade, to weaken the lignin and carbohydrates bonds, and to increase the contact area of these cellular components to the attack of the different microorganisms that intervene in their degradation. In nature, the apparent association between carbohydrates and lignin is still under discussion. In general, the substrates should have an appropriate relationship carbon/nitrogen (C/N) for their fermentation; it should oscillate between 25 and 35. For low values (<25) materials rich in carbon should be added, in other cases, materials rich in nitrogen such as animal excretes or black waters. The great human growth and development in the cities during the XX and XXI centuries have resulted in an unmanageable production of these black waters. In the plants of treatments created to these ends, these waters and muds sewers can be treated by anaerobic form (Lei *et al.*, 2010; Pilli *et al.*, 2011). However, they have C/N relationships between 6:1 and 9:1 (Forster-Carneiro *et al.*, 2007), while with the digested substrates they present values between 14 and 16 (Guo *et al.*, 2008), below the relationship recommended C/N. In this case, practices of blending of black waters with animal excrete increase this relationship favorably for the process of anaerobic fermentation (Carrère *et al.*, 2010). The municipal solid residues (garbage) are also feasible of treating by means of anaerobic fermentation techniques (Forster-Carneiro *et al.*, 2010). However, a promissory current tendency is the combined treatment of liquid and solid residues by means of these techniques in the municipal treatment plants (Forster-Carneiro *et al.*, 2007). At present, many treatment plants do not have substrate pretreatments what results in long periods of hydraulic retention, low efficiency of organic matter removal and uncertainty in the processes of anaerobic digestion (Fernández-Güelfo *et al.*, 2011).

Many agricultural and industrial residues are candidates for the anaerobic digestion because they possess appropriate relation C/N (superior at 20), as fruits and vegetables (Bouallagui *et al.*, 2005), residues of citric, tomatoes, cucumber, silage grasses, sweet potato, sugar cane (Meunchang *et al.*, 2005), pineapple, restaurant residues (Castelló *et al.*, 2009; Forster-Carneiro *et al.*, 2010) and other agricultural residues. In the Cuban case these techniques are not applied to agribusiness scale, only mono fermentation is used, which impedes that the most representative biodigesters (fixed dome, mobile dome and flexible tubular), that generally use pig and cow manure or mixtures of both as substrates, can express all their productive potential. For such a reason, presenting the state of the art in this thematic could provide the investigators and productive technicians, the theoretical tools that facilitate the introduction of these techniques to country level.

## DEVELOPMENT

The methods of substrate pretreatments have as object the improvement of anaerobic digestion qualities, when altering their physical, chemical and biological states. However, they show certain particularities such as: the increasing of the manipulation costs, the increment of the legislative requirements

y tratamiento químico pueden mejorar la digestibilidad de estos. El objetivo de utilizar pre tratamientos es modificar la estructura compleja de estos materiales (usualmente celulosa), para reducir el grado de polimerización, debilitar los enlaces de lignina y carbohidratos, e incrementar el área de contacto de estos componentes celulares al ataque de los diferentes microorganismos que intervienen en su degradación. En la naturaleza la aparente asociación entre los carbohidratos y la lignina esta aun en discusión. En general los sustratos para su fermentación deben tener una adecuada relación carbono/nitrógeno (C/N) que debe oscilar entre 25 y 35. Para valores bajo (<25) se debe añadir materiales ricos en carbono en otros casos materiales ricos en nitrógenos tales como: excretas animales o aguas negras. El gran crecimiento y desarrollo humano en las ciudades durante el siglo 20 y 21 ha traído como consecuencia una producción inmanejable de estas aguas negras, en las plantas de tratamientos creadas a estos fines, estas aguas y lodos cloacales pueden ser tratados anaeróbicamente (Lei *et al.*, 2010; Pilli *et al.*, 2011). Sin embargo estas tienen relaciones C/N entre 6:1 y 9:1 (Forster-Carneiro *et al.*, 2007). Mientras con los sustratos digeridos presentan valores entre 14 y 16 (Guo *et al.*, 2008), valores por debajo de la relación C/N recomendada. En este caso prácticas de mezclado de aguas negras con excretas de origen animal incrementan esta relación favorablemente para el proceso de fermentación anaeróbica (Carrère *et al.*, 2010). Los residuos sólidos municipales (basura) son también factibles de tratar mediante las técnicas de fermentación anaeróbicas (Forster-Carneiro *et al.*, 2010). Sin embargo, una promisorio tendencia actual es el tratamiento combinado de residuos líquidos y sólidos mediante estas técnicas en las plantas de tratamiento municipales (Forster-Carneiro *et al.*, 2007). En la actualidad muchas plantas de tratamiento no cuentan con pre tratamientos de sus sustratos lo que trae como consecuencia largos periodos de retención hidráulica, baja eficiencia de la remoción de materias orgánicas e inestabilidad en los procesos de digestión anaeróbicos (Fernández-Güelfo *et al.*, 2011).

Muchos residuos agrícolas, industriales y de la industria de los alimentos son candidatos para la digestión anaeróbica producto de poseer adecuadas relaciones C/N (superior a 20), como frutas y vegetales (Bouallagui *et al.*, 2005), boniato, bagazo de caña de azúcar (Meunchang *et al.*, 2005), residuos de restaurant (Castelló *et al.*, 2009; Forster-Carneiro *et al.*, 2010) y otros residuos agrícolas. En el caso cubano estas técnicas no son aplicadas a escala agroindustrial, solo se utiliza la mono fermentación, lo cual impide que los biodigestores más representativos (cúpula fija, cúpula móvil y tubulares flexibles) que generalmente emplean como sustratos excretas porcinas, vacunas o mezclas de ambas, puedan expresar todo su potencial productivo. Por tal motivo, presentar el estado del arte en esta temática, pudiera proveer a los investigadores y personal productivo, herramientas teóricas que posibiliten la introducción de estas técnicas a nivel de país.

## DESARROLLO

Los métodos de pre tratamientos de los sustratos tienen como objeto el mejoramiento de las cualidades de digestión anaeróbica de estos, al alterar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Sin embargo estos muestran ciertas particularidades tales como: incremento de los costos de manipulación, incremento de los requisitos legislativos para la estabilización y remoción de posibles

for the stabilization and removal of possible pathogens, tendency to the handling of smaller nitrogen limits, that which allows the handling of the age of these substrates and the decrement of the degradability of activated substrates (Zhong *et al.*, 2011). In accordance with the document referenced as *Asistencia tecnológica* (2008), the service to determine physical-mechanical and chemical properties in residues or biomasses of agricultural or animal origin, allows to know the maximum potential of biogas of a residue or mixture of residues following the procedure described by the norm VDI e.V. (2014). For such a reason, it is necessary an analysis of the pretreatments to use depending on the type, performance and costs. Emphasis should be made in the main pre-treatments which are related with: physical treatments (mechanics, thermal and ultrasonic), chemical and biological previous to the stabilization of these substrates.

## METHODS

**Physical pretreatments:** they can be used when there are problems of poor substrate degradation, low methane yield or instability of the anaerobic degradation steps or processes. In such cases, these conditions can be improved by using physical-mechanical treatments like milled, homogenization to high pressure, thermal and ultrasonic. The application of physical pre-treatments can increase the range of the hydrolysis and the anaerobic bio-degradation of the substrates, especially the municipal solid residues.

**Mechanical pretreatments:** they are managed to reduce the dimensions of the substrates improving the rupture of their cellular walls that cause a better attack of the microorganisms that live in these habitats and which are in charge of the degradation by stages of the compounds and complex connections to other simpler ones, improving the speed and efficiency of the hydrolysis. The basic operations used in the process of separation of the materials, mainly of the municipal solids are the following:

1. Reduction of the size;
2. Separation for size;
3. Separation for density;
4. Separation by means of electromagnetic fields;
5. Compaction.

**Thermal pretreatments:** They are states or operations that improve the efficiency of the anaerobic processes because they help the hydrolysis in the processes of solubilizing the substrates. The organic and inorganic compounds are efficiently solubilized during the thermal treatment (Appels *et al.*, 2010), reducing the volume of the digester and improving the biogas production (Bougrier *et al.*, 2008). The processes of thermal hydrolysis can be applied in the anaerobic digestion with the objective of improving the biodegradation of the substrates and they can also be used to reduce the layer of residues previous to their drying, to reduce solids in the effluents (digestate) and to increase solids in the influents (blocks). The resulting thermal energy can be recovered to maintain the temperature of the anaerobic process.

Two conventional levels of temperature exist for the anaerobic digesters, which are determined in dependences which

patógenos, tendencia al manejo de menores límites de nitrógeno, lo cual permite el manejo de la edad de estos sustratos y el decremento de la degradabilidad de sustratos activados (Zhong *et al.*, 2011). De acuerdo con el documento referenciado como *Asistencia tecnológica* (2008), el servicio para determinar propiedades físico-mecánicas y químicas en residuos o biomásas de origen agrícola o animal permite conocer el potencial máximo de biogás de un residuo o mezcla de residuos siguiendo el procedimiento descrito por la norma VDI e.V. (2014). Por tal motivo, es necesario un análisis de los pre tratamientos a utilizar en dependencia del tipo, actuación y costos. Se debe hacer énfasis en los principales pre-tratamientos los cuales están relacionados con: tratamientos físicos (mecánicos, térmicos y ultrasónicos), químicos y biológicos anterior a la estabilización de estos sustratos.

## MÉTODOS

**Los pre tratamientos físicos:** pueden ser utilizados cuando existen problemas referidos con la baja degradación de los sustratos, bajo rendimiento de metano, inestabilidad de los pasos o procesos de la degradación anaeróbica, en estos casos, estas condiciones pueden ser mejoradas utilizando tratamientos físicos-mecánicos tales como: molinado, homogenización a alta presión, térmicos y ultrasónicos. La aplicación de pre-tratamientos físicos puede incrementar el rango de la hidrólisis e incrementar la biodegradabilidad anaeróbica de los sustratos, especialmente los residuos sólidos municipales.

**Los pre tratamientos mecánicos:** estos están dirigidos a reducir las dimensiones de los sustratos mejorando la ruptura de sus paredes celulares, lo cual provoca un mejor ataque de los microorganismos que viven en este hábitat encargados de la degradación por etapas de los compuestos y enlaces complejos a otros más simples, mejorando la velocidad y eficiencia de la hidrólisis. Las operaciones básicas usadas en el proceso de separación de los materiales, principalmente de los sólidos municipales son las siguientes:

1. reducción del tamaño;
2. separación por tamaño;
3. separación por densidad;
4. separación mediante campos electromagnéticos;
5. compactación.

**Los pre tratamientos térmicos:** los pre tratamientos térmicos son un estado u operación que mejora la eficiencia de los procesos anaeróbicos porque ayudan a la hidrólisis en los procesos de solubilización de los sustratos, los compuestos orgánicos e inorgánicos son eficientemente solubilizados durante el proceso de tratamiento térmico (Appels *et al.*, 2010), reduciendo el volumen del digester y mejorando la producción de biogás (Bougrier *et al.*, 2008). En la digestión anaeróbica los procesos de hidrólisis térmica pueden ser aplicados con el objetivo de mejorar la biodegradación de los sustratos y también pueden ser usados para reducir la capa de residuos anterior a su secado, para reducir sólidos en los efluentes (digestatos) y para incrementar sólidos en los afluentes (torta). La energía térmica resultante puede ser recuperada para mantener la temperatura del proceso anaeróbico.

Existen dos niveles convencionales de temperatura para los digestores anaeróbicos, los cuales son determinados en dependencias de las especies de bacterias metanogénicas

are determined by the species of methane bacteria present in the biodigester: mesophile or thermophile. The mesophilic temperature takes place optimally between 20 °C and 35 °C and the mesophile are the primarily existent microorganisms (Ferrer *et al.*, 2008); while the thermophile temperature takes place optimally in the ranges of 45 °C to 55 °C and the thermophile are the primarily existent microorganisms (Bougrier *et al.*, 2008). These authors suggest a classification of the thermal treatments according to their impact in the biogas production:

1. treatments with temperatures between 70 °C and 121 °C, which allow an increment between 20% and 30% of the biogas production;
2. treatments with temperatures between 160 °C and 180 °C, which allow an increment between 40% and 100% of the biogas production;

The treatments using temperatures between 160 °C and 180 °C, are the most efficient to improve the anaerobic digestion of the substrates, but they have some limitations as for the biogas production. In accordance with Mottet *et al.* (2009), the kinetics of methane production is strongly bound to the kinetics of acetate and propionate, limiting the effect of methane production. In studies with thermal treatments in thermophile processes of substrate degradation, acetate degradation was associated with the first phase of methane production, while propionate degradation was associated with the second phase of methane production process. The application of temperatures above 200 °C can cause inhibitory effect in methane production, because the hydrolysis of cellular components (DNA and RNA involve the polymerization of sugars and amino acids), by increasing nitrogen and phosphorous concentration in the solution. Also, temperatures higher than 180°C allow the production of recalcitrant soluble organic substances and inhibitory toxic intermediate substances, reducing the biodegradability (Wilson & Novak, 2009).

**Ultrasound pretreatments:** the application of high ultrasound intensities to liquid systems allows physical-chemical reactions that can significantly modify the structure of the materials in the liquid. The sounds spread in form of waves (sound waves), with different longitudes and intensities (frequencies) are also used. Ultrasound is a term used for some waves on the 20 kHz that can be heard by humans. However, the extremely high frequency causes an effect well-known as cavitation. When the ultrasound waves pass through a means, they generate gas bubbles, which are subsequently compressed and expanded by the sound waves passing, until reaching a critical point where they possibly explode, producing extreme local conditions of temperature and pressure. The high temperature and local pressure of those “shock waves” can affect the organic wombs seriously, liberating the intercellular material making it more affordable and increasing the contact between the means and the substrate and improving this process. Depending on the frequency and intensity of the ultrasound waves, the bubbles can oscillate more, previous to their explosion, generating bigger bubbles (small bubbles are also generated) with great energy accumulation. In general, the big bubbles are formed with low frequencies (20 kHz), while the small bubbles are formed with

presentes en el biodigester: mesofílica o termofílica. La temperatura mesofílica tiene lugar óptimamente entre 20 °C y 35 °C, donde los meso filos son los microorganismos primarios existentes (Ferrer *et al.*, 2008), mientras que la temperatura termofílica tienen lugar óptimamente en los rangos de 45 °C a 55 °C, donde los termo filos son los microorganismos primarios existentes (Bougrier *et al.*, 2008), sugieren una clasificación de los tratamientos térmicos en dependencia de su impacto en la producción de biogás:

1. tratamientos con temperaturas entre 70 °C y 121 °C, las cuales permiten un incremento entre 20% y 30% de la producción de biogás;
2. tratamientos con temperaturas entre 160 °C y 180 °C, las cuales permiten un incremento entre 40% y 100% de la producción de biogás;

Los tratamientos utilizando temperaturas entre 160 °C y 180 °C, son los más eficientes para mejorar la digestión anaeróbica de los sustratos, pero tienen algunas limitaciones en cuanto a la producción de biogás; De acuerdo con Mottet *et al.* (2009), la cinética de la producción de metano está fuertemente ligada a la cinética del acetato y propionato, limitando el efecto de la producción de metano. En estudios con tratamientos térmicos en procesos termofílicos de degradación de sustratos, la degradación del acetato fue asociada con la primera fase de la producción de metano, mientras que la degradación del propionato fue asociada con la segunda fase del proceso de producción de metano. La aplicación de temperaturas por encima de los 200 °C puede provocar efectos inhibitorios en la producción de metano, debido a que la hidrólisis de los componentes celulares (DNA y RNA involucran la polimerización del azúcar y los aminoácidos), incrementando la concentración de nitrógeno y fosforo en la solución. También temperaturas mayores que 180 °C permiten la producción de sustancias orgánicas solubles recalcitrantes y sustancias intermedias tóxicas inhibitorias, reduciendo la biodegradabilidad (Wilson y Novak, 2009).

**Los pre tratamientos por ultrasonido:** la aplicación de altas intensidades de ultrasonido a sistemas líquidos permite reacciones físico-químicas que pueden modificar significativamente la estructura de los materiales presentes en el líquido. Los sonidos propagados en forma de ondas (ondas de sonido), con diferentes longitudes e intensidades (frecuencias) también son utilizados. Ultrasonido es un término usado para algunas ondas sobre los 20 kHz, las cuales los humanos pueden oír. Sin embargo, la extremadamente alta frecuencia provoca un efecto conocido como cavitación. Cuando las ondas de ultrasonido pasan a través de un medio, generan burbujas de gas, las cuales son subsecuentemente comprimidas y expandidas por el paso de las ondas de sonido, hasta alcanzar un punto crítico donde eventualmente explotan, produciendo condiciones extremas locales de temperatura y presión. La alta temperatura y presión local de las “ondas de choque” pueden afectar seriamente las matrices orgánicas, liberando el material intercelular haciendo más asequible e incrementando el contacto entre el medio y el sustrato mejorando dicho proceso. Dependiendo de la frecuencia e intensidad de las ondas de ultrasonido, las burbujas pueden oscilar más, anterior a su explosión, generando burbujas

high frequencies (40 kHz). In this context, low frequencies are usually utilized when the objective is the destruction of the material subjected to pretreatments by ultrasound (like it is the case of the substrates), while high frequencies are used for delicate materials (like they are the cases of electronic materials and components of jewels) In this context, low frequencies are usually utilized when the objective is the destruction of the material subjected to pretreatments by ultrasound (like in the case of the substrates), while high frequencies are used for delicate materials (like in the cases of electronic materials and components of jewels) (Foster-Carneiro *et al.*, 2012). Most of the ultrasound apparatuses for pretreatments of substrates use frequencies between 20 and 40 kHz, with intensities of power in the range of 50-80 W and until more than 20 000 W. The volume is an important aspect, since this can cause an over-dilution, being given the power and the intensity in  $W/m^2$ . A complete disintegration of the substrates is also possible, keeping in mind a balance between the cavitation effect and the necessary consumption of power for minimizing the costs of the process (Pilli *et al.*, 2011). This way, the application of ultrasound has a high potential to be used in pretreatment of substrates. A short pretreatment of 15 minutes of sonification increases the initial chemical oxygen demand (COD) from 50 mg/L until values of 2 500 mg/L. It also increases the performance of the anaerobic biodigestion by augmenting the solubility of the substrate and its biodegradability. An economic analysis of the use of the ultrasound also shows its economic viability (Apul & Sanin, 2010). The ultrasound has been used as pretreatments in raw muds before being provided to mesophile and thermophile digesters with significant improvements in the efficiency of the chemical oxygen demand (COD) removal and the biogas production, especially under the mesophilic conditions. A remarkable reduction of the contents of micro-pollutants has also been observed. Sometimes they depend on the characteristics of the components. The ultrasound can remove naphthalene, particularly in the mesophilic conditions, while the removal of pireno stays at the same level with or without treatment for ultrasound.

**Chemical pretreatments:** the methods of chemical pretreatment include alkalis (alkaline hydrolysis and alkaline peroxide), processes organosolv, humid oxidation (treatments with water, air or oxygen to temperatures above 120 °C for periods of 30 minutes), oxonolisis (treatments with ozone), and pretreatments of acid hydrolysis (sulfuric acid is the most applied). In the case of the anaerobic pretreatments of the substrate, the method of the alkalis is the most used to increase the performance in terms of solubilization of the chemical oxygen demand (COD) and the biogas production. Different alkaline agents can be found in the literature such as: NaOH, KOH, Mg (OH)<sub>2</sub>, and Ca (OH)<sub>2</sub>, sodium hydroxide (NaOH) also well-known as caustic soda, which is a caustic metallic base. The procedure for chemical pretreatments of substrate in anaerobic biodigestion consists on the addition of a dose of NaOH to the substrate at room temperature (25 °C) in retention time of 24 hours, later on, the samples should be filtered in meshes of nylon mesh of 20 microns (Lin *et al.*, 1997), or to be centrifuged obtaining a liquid

más grandes (también pequeñas burbujas son generadas) con gran acumulación de energía. En general, las burbujas grandes son formadas con bajas frecuencias (20 kHz), mientras que las burbujas pequeñas son formadas con altas frecuencias (40 kHz). En este contexto, bajas frecuencias son usualmente utilizadas cuando el objetivo es la destrucción del material sometidos a pre tratamientos por ultrasonido (como es el caso de los sustratos), mientras que altas frecuencias son usadas para materiales delicados (como son los casos de materiales electrónicos y componentes de joyas) (Foster-Carneiro *et al.*, 2012). La mayoría de los aparatos de ultrasonido para pre tratamientos de sustratos usan frecuencias entre 20 y 40 kHz, con intensidades de potencia en el rango de 50–80 W y hasta más de 20 000 W. El volumen es un importante aspecto, ya que esto puede provocar una sobre-dilución, dándose la potencia y la intensidad en  $W/m^2$ . También una completa desintegración del sustrato es posible, teniendo en cuenta un balance entre el efecto de cavitación y el consumo de potencia necesario de forma de minimizar los costos del proceso (Pilli *et al.*, 2011). De esta forma, la aplicación del ultrasonido tiene un alto potencial para ser usado en pre tratamiento de sustratos. Un corto pre tratamiento de 15 minutos de sonificación incrementa la demanda química de oxígeno inicial (COD) desde 50 mg/L hasta valores de 2 500 mg/L. Además de incrementar la actuación de la biodigestión anaeróbica incrementando la solubilidad de los sustratos y su biodegradabilidad. También un análisis económico del uso del ultrasonido muestra su viabilidad económica (Apul y Sanin, 2010). El ultrasonido ha sido usado como pre-tratamientos en lodos crudos anterior a ser alimentados a digestores mesofílicos y termofílicos con significativas mejoras en la eficiencia del removimiento de la demanda química de oxígeno (COD) y la producción de biogás, especialmente en las condiciones mesofílica. También ha sido observada una notable reducción de los contenidos de micro-contaminantes. A veces estas dependen de las características de los componentes. El ultrasonido puede remover la naftalina, particularmente en la condición mesofílica, mientras que la remoción del pireno se mantiene al mismo nivel con o sin tratamiento por ultrasonido.

**Los pre tratamientos por químicos:** los métodos de pre tratamiento químicos incluyen álcalis (hidrólisis alcalina y peróxido alcalino), procesos organosolv, oxidación húmeda (tratamientos con agua, aire u oxígeno a temperaturas sobre los 120 °C por períodos de 30 minutos), oxonolisis (tratamientos con ozono), pre tratamientos de hidrólisis acida (ácido sulfúrico es el más aplicado). En el caso de los pre tratamientos anaeróbicos de los sustratos, el método del álcalis es el más usado por incrementar la actuación en términos de solubilización de la demanda química de oxígeno (COD) y la producción de biogás. En la literatura se pueden encontrar diferentes agentes alcalinos tales como: NaOH, KOH, Mg (OH)<sub>2</sub> y Ca (OH)<sub>2</sub>, hidróxido de sodio (NaOH) también conocido como sosa cáustica, es una base metálica cáustica. El procedimiento para los pre tratamientos químicos de sustratos en biodigestión anaeróbica consiste en la adición de dosis de NaOH a los sustratos a temperatura ambiente (25 °C) con tiempo de retención de 24 horas, posteriormente las muestras deben ser filtradas en mallas de nylon mesh de 20 micrones (Lin *et al.*, 1997), o ser centrifugadas obteniendo una

fraction (supernatant) and a solid part (precipitate). The alkaline atmosphere causes the slipping of the organic particles making them more susceptible to the enzymatic attack, improving the biodegradability of the solid part in contrast with the acid hydrolysis, characterized firstly by mechanisms of solubilization of the organic matter. Besides that, the buffer capacity resulting of alkalis addition can help to the neutralization of fatty organic acids (VFA) during the stages of the digestion, attenuating their inhibitory effect. The proposed concentrations of NaOH are variable from one author to another.

In accordance with Foster-Carneiro *et al.* (2012), the alkaline treatments to room temperature of wheat straw substrate, with NaOH to 5 meq/L showed an increment of the biodegradability above 100%. The muds pretreated showed an increment of the solubility of 46%. Some authors suggest that the higher proportion of total solids in the muds, the higher removing of organic matter for similar dose of NaOH and equal retention hydraulic time. In the case of total solid concentrations of 2% in muds, reductions have been observed in the chemical oxygen demand (CDO) of 47%, comparative with 39% in other muds with concentrations of 1% of total solids, hydraulic retention time (HRT) of 7,5 days and NaOH dose of 20 meq/L. On the other hand, the pre alkaline treatments of the muds in bioreactor allow reducing the hydraulic retention time (HRT) from 15 days up to 2 days. After pre alkaline treatments in cellulosic residues, the application of alkalis of NaOH promotes the lignin rupture, increasing the area of contact of cellulose and diminishing its crystalline ability. The pretreatments with ammonium shows numerous advantages like nitrogen supply for the biodegradation of the substrate, they promote the biogas production and it is an easy-to-operate method with pre short treatments recommended for great scale bio gasification of corn straw (Zhong *et al.*, 2011). In general the relationship carbon-nitrogen (C/N) for the anaerobic digestion should be in the range of 25-35. Some organic substrates need to be supplemented to increase the nitrogen fraction and so obtaining higher efficiency of anaerobic digestion. That nitrogen added can be inorganic (ammonium) or organic (urea, animal excreted or residues of food). Nitrogen liberated of the organic matter is transformed into ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), which is soluble and allows recycling the nitrogen in the broth of the digester and reducing the necessary quantity of it.

**Biological pretreatments:** the objective of pre biological treatments is to prepare the substrate for the enzymatic degradation, and the best method and condition of pretreatment greatly depends on the substrate type. Among the utilized microorganisms to degrade organic substrate there are several types of mushrooms, such as: Carmelite, white and soft rotten, besides some types of bacteria (Taherzadeh & Karimi, 2008). Kurakake *et al.* (2007), studied biological treatments in office paper with two strains of bacteria (*Sphingomonas paucimobiles* and *Bacillus circulans*), obtaining improvements in the enzymatic hydrolysis, as well as 94% of sugar recovery.

Depending on the substrate type (residuals of houses, waters residuals of industries, etc), the enzymatic attack can be carried out by different types of mushrooms or combinations of these (*Aspergillus niger*, *Aspergillus awamori*, *Asper-*

fracción líquida (supernatante) y una parte sólida (precipitado). El ambiente alcalino causa deslizamiento de las partículas orgánicas haciéndolas más susceptibles al ataque enzimático, mejorando la biodegradabilidad de la parte sólida en contraste con la hidrólisis ácida, caracterizada primero por mecanismos de solubilización de la materia orgánica. Además de esto, la capacidad buffer resultante producto de la adición de álcalis, pueden ayudar a la neutralización de ácidos orgánicos grasos (VFA) durante las etapas de la digestión, atenuando su efecto inhibitorio. Las concentraciones propuestas de NaOH son variable de un autor a otro.

De acuerdo con Foster-Carneiro *et al.* (2012), los tratamientos alcalinos a temperatura ambiente de sustratos de paja de trigo, con NaOH a 5 meq/L mostraron un incremento de la biodegradabilidad por encima de un 100%. Los lodos pre tratados mostraron un incremento de la solubilidad de 46%. Algunos autores sugieren que a mayor proporción de sólidos totales en los lodos mayor removimiento de materia orgánica para dosis iguales de NaOH y tiempo de retención iguales, en el caso de concentraciones de sólidos totales de 2% en lodos, se han observado reducciones en la demanda química de oxígeno (CDO) de 47%, comparado con 39% en otros lodos con concentraciones de 1% de sólidos totales, el tiempo de retención hidráulica (HRT) fue de 7,5 días y la dosis de NaOH utilizada fue de 20 meq/L. Por otra parte, los pre tratamientos alcalinos de los lodos en bioreactores permiten reducir el tiempo de retención hidráulica (HRT) desde 15 días hasta 2 días. Después de pre tratamientos alcalinos en residuos celulósicos, la aplicación de álcalis de NaOH promueve la ruptura de lignina, incrementando el área de contacto de la celulosa y disminuyendo su cristalinidad. Los pre tratamientos con amonio muestran numerosas ventajas como suministro de nitrógeno para la biodegradación de los sustratos, promueven la producción de biogás y es un método fácil de operar con pre tratamientos cortos recomendados para la biogaseficación a gran escala de paja de maíz (Zhong *et al.*, 2011). En general la relación carbono-nitrógeno (C/N) para la digestión anaeróbica debe estar en el rango de 25-35, algunos sustratos orgánicos necesitan ser suplementados para incrementar la fracción de nitrógeno para obtener una mayor eficiencia de la digestión anaeróbica y el nitrógeno puede ser añadido en forma inorgánica (amonio), o de forma orgánica (urea, excreta animal o residuos de alimentos), mientras un nitrógeno es liberado de la materia orgánica, este es convertido en amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) el cual es soluble y permite reciclar el nitrógeno en el caldo del digestor, reduciendo la cantidad de nitrógeno necesario.

**Los pre tratamientos biológicos:** el objetivo de los pre tratamientos biológicos es preparar los sustratos para la degradación enzimática y el mejor método y condición de pre tratamiento depende en gran medida del tipo de sustrato. Dentro de los microorganismos utilizados para degradar sustratos orgánicos se encuentran varios tipos de hongos, tales como: carmelita, blanco y suaves putrefactos, además de algunos tipos de bacterias (Taherzadeh & Karimi, 2008). Kurakake *et al.* (2007), ha estudiado tratamientos biológicos en papel de oficina con dos cadenas de bacterias (*Sphingomonas paucimobiles* y *Bacillus circulans*), obteniendo mejoras en la hidrólisis enzimática, así como un 94% de recuperación de azúcar.

Dependiendo del tipo de sustrato (residuos de casas, aguas de industrias, residuos de destilería etc), el ataque enzimático puede

*gillums oryzae*, *Aspergillums terreus*, etc). Taniguchi *et al.* (2005) evaluated pre biological treatments in rice straw by using 4 white-rotten mushrooms (*Phanerochaete chrysosporium*, *Tramete versicolor*, *Ceriporiopsis subvermispora* and *Pleurutus ostreatus*) and the pretreatment with *Pleurutus ostreatus* resulted in a selective degradation of lignin and an increment of the susceptibility of the rice straw to the enzymatic hydrolysis. Also in the phase of solid fermentation of orange shell with strains of mushrooms of the type *Sporotrichum*, *Aspergillums*, *Fusarium* and *Penicillum*, the feeding capacity of constituent was improved and the level of antimicrobials substances was reduced. In a similar work, white-soft mushroom cultivations were used for decontaminating waste waters of olive milling, improving its digestion. Low energy requirements, non-usage of chemical and environmentally friendly conditions are the main advantages of the pre biological treatments. However, the efficiency of these treatments is sometimes low in most of these pretreatments. For such a reason, the pre biological treatments need an extra step that assures the later enzymatic attack; this alternative can be carried out after other previously discussed treatments (physical or chemical).

**Combined pretreatments:** Physical, chemical and biological pretreatments are very well-known in the technology of anaerobic biodegradation. They are intended to improve biodegradability and to increase the biogas production. In accordance with Taherzadeh & Karimi (2008), an effective pretreatment needs to gather the following requirements: a) to impede the possible formation of inhibitors of the enzymatic hydrolysis and of the fermentative microorganisms; b) to minimize the energy demand; c) to reduce the costs of the substrate fractioning; d) to reduce the costs of building materials for the utilization of pretreatments in the bioreactor; e) production of less residues; g) little or none-consumption of expensive chemicals. When physical, chemical or biological pretreatments are not effective, precombined treatments can be used, such as combinations of pretreatments physical-chemical, chemical-biological, etc. Chemical-thermal treatments as part of physical-chemical pretreatments in solid municipal biofermentation object have been studied and their results show a slight increment in the chemical oxygen demand (COD) when applying temperatures in the range of 150-225 °C, a marked decreasing of the hydrolysis at temperatures above 225 °C. Also three chemical pretreatments were reported by Zhong *et al.* (2011), using NaOH, ammonium and urea added in flasks of a liter of corn straw, in concentrations of 8%, 5% and 4%, respectively. The contents of humidity of the three groups were 48%, 22% and 38%, correspondingly. All the flasks prepared were covered with a plastic film and closed with a plastic hoop and placed to 152 °C during 20 days. After that, they were dried in an electronic oven to 80 °C for 48 hours and finally, they were preserved in a refrigerator for later chemical analyses to determine their composition and the possible effect in the biogas production. According to Fernández-Güelfo *et al.* (2011), the study of thermal-alkaline pretreatments (Na, NaOH) with different temperatures and pressure, concentrations of sodium, atmosphere type and percentages of inoculum volumes concluded that: i) pressure and temperature are parameters that

ser realizado por diferentes tipos de hongos o combinaciones de estos (*Aspergillus niger*, *Aspergillus awamori*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus terreus*, etc). Taniguchi *et al.* (2005), evaluaron pre tratamientos biológicos en paja de arroz usando 4 hongos blanco-putrefactos (*Phanerochaete chrysosporium*, *Tramete versicolor*, *Ceriporiopsis subvermispora* y *Pleurutus ostreatus*) y el pre tratamiento con *Pleurutus ostreatus* resultó en una degradación selectiva de la lignina y un incremento de la susceptibilidad de la paja de arroz a la hidrólisis enzimática. También en la fase de fermentación sólida de la cáscara de naranja con cadenas de hongos del tipo *Sporotrichum*, *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillum* mejoró la capacidad de alimentación de constituyentes y redujo el nivel de sustancias antimicrobiales. En un trabajo similar, cultivos de hongo blanco-suaves fueron usados para descontaminar aguas residuales del molinado de olivas, mejorando su digestión. El bajo requerimiento energético, el no empleo de químicos y la apacible condición ambiental son las principales ventajas de los pre tratamientos biológicos. Sin embargo, a veces la eficiencia de estos tratamientos es baja en la mayoría de estos pre tratamientos. Por tal motivo, los pre tratamientos biológicos necesitan de un extra estado que asegure el ataque enzimático posterior a estos; esta alternativa puede ser realizada posterior a otros pre tratamientos previamente discutidos (físicos o químicos).

**Los pre tratamientos combinados:** los pre tratamientos físicos, químicos y biológicos son bien conocidos en la tecnología de la biodegradación anaeróbica. En estos se busca dos efectos: mejorar la biodegradabilidad e incrementar la producción de biogás. De acuerdo con Taherzadeh y Karimi (2008), un efectivo pre tratamiento necesita reunir los siguientes requerimientos: a) impedir la posible formación de inhibidores de la hidrólisis enzimática y de los microorganismos fermentativos; b) minimizar la demanda de energía; c) reducir los costos del fraccionamiento de los sustratos; d) reducir los costos de los materiales de construcción para el empleo de pre tratamientos en el bioreactor; e) producción de menos residuos; g) poco consumo o no consumo de químicos caros. Cuando los pre tratamientos físicos, químicos o biológicos no son efectivos, pre tratamientos combinados pueden ser usados, tales como combinaciones de pre tratamientos físico-químicos, químicos-biológicos etc. Tratamientos químicos-térmicos como parte de pre tratamientos físico-químicos en residuos sólidos municipales objeto de biofermentación han sido estudiados, los resultados muestran un ligero incremento en la demanda química de oxígeno (COD) al aplicar temperaturas en el rango de 150-225 °C, un decrecimiento marcado de la hidrólisis a temperaturas superiores a 225 °C. También tres pre tratamientos químicos (NaOH, amonio y urea) fueron reportados por Zhong *et al.* (2011). Utilizando NaOH, amonio y urea añadidos en frasco de un litro de paja de maíz, en concentraciones de 8%, 5% y 4% respectivamente. El contenido de humedad de los tres grupos fue 48%, 22% y 38%. Finalmente todos los frascos preparados fueron cubiertos con una película plástica y cerrados con un aro plástico, se colocaron a 152 °C durante 20 días. Finalmente fueron secados en un horno electrónico a 80 °C por 48 horas, posteriormente se guardaron en un refrigerador para realizar los análisis químicos para determinar su composición y los posibles efectos en la producción de biogás. De acuerdo con Fernández-Güelfo *et al.* (2011), el estudio de pre tratamientos térmicos-alcálicos (Na, NaOH) con diferentes

significantly influence the yield of organic matter solubilizing process, expressed in terms of COD and total acidity, to minimum pressures of 1 bar and maximum of 10 bar;

ii) alkaline concentration and temperature are factors that influence significantly the organic matter solubilizing process, expressed in terms of COD, maximum concentration 5 g/L. Other types of pretreatments studied are the simultaneous combination of vibration for ultrasound (120 W/h and 20 kHz) and alkaline (40 meq/L). The combination of pretreatments was more effective than when alkaline pretreatments were used in a separate way, in which speeds of hydrolysis of the order of 97,8 mg/L.min were reached. Martínez *et al.* (2012), working with different agricultural and tavern residuals to laboratory scale obtained the following biochemical methane potential: sunflower grains (0,40 m<sup>3</sup>/kg.VS); grains of corn (0,35 m<sup>3</sup>/kg.VS); yuca (0,32 m<sup>3</sup>/kg.VS); sweet potato shell (0,32 m<sup>3</sup>/kg.VS); potato (0,30 m<sup>3</sup>/kg.VS); bread (0,30 m<sup>3</sup>/kg.VS); sorghum variety 49 V-49-96 (0,30 m<sup>3</sup>/kg.VS), sorghum variety 132-R (0,27 m<sup>3</sup>/kg.VS) and peanut shell (0,10 m<sup>3</sup>/kg.VS).

## PARTICULARITIES

The development of each of these techniques is based on national and international protocols and norms, which are of strict execution when the preparation of the diverse experiments. Of course, equipment and enough training are necessary to assume them. In the Cuban case, this is possible and feasible since both premises are provided.

## ANÁLISIS EN CUBA

In Cuba the co-fermentation and the use of basic and special pretreatment to improve the quantity and quality of the obtained biogas are practically unknown. Cuban plants for the production of biogas only use cow manure, pig manure or mix of both for these ends in mono-fermentation; therefore, the co-digestion (co-fermentation) of these excretes with agricultural residues, as well as the basic and special pretreatments are not utilized until the present, because of that, it is important to promote these methodologies for the Cuban case. In this sense it can be said that, in the Cuban case, the works that have been developed by Martínez *et al.* (2014), the ones developed with investigators of the University of Rostock and the University of Hohenheim, Germany, since 2007 until the present, are some of the few existent in these thematic. Nevertheless, it is known that in other centers, some works about this theme, are in plan to be done at the level of investigation projects. However, until present, systematic studies are not reported in this sphere in our national scientific literature. On the other hand, the little use of different types of biomasses of agricultural and animal origin for biogas production, the poor yield and quality of biogas obtained in the Cuban facilities, could be resolved if the **following problem is faced**: How to improve the use, yield and quality of these types of biomasses in the Cuban case? The answer to this query could be in the utilization of different types of biomasses of agricultural and animal origin; as well as an appropriate preparation of them (pretreatments) previous to the biodigestion process, that

temperaturas y presión, concentraciones de sodio, tipo de atmosfera y porcentajes de volúmenes de inóculos concluyó que: i) la presión y la temperatura son parámetros que influyen significativamente el rendimiento de solubilización de materia orgánica, expresada en términos de COD y acidez total, a presiones mínimas de (1 bar) y máxima de (10 bar); ii) la concentración alcalina y la temperatura son factores que influyen significativamente la solubilización de materia orgánica expresada en términos de COD, máxima concentración 5 g/L. Otros tipos de pre tratamientos estudiados son la combinación simultánea de vibración por ultrasonido (120 W/h y 20 kHz) y alcalinos (40 meq/L). La combinación de pre tratamientos fue más efectiva que cuando se emplearon pre tratamientos alcalinos de forma separada, en los cuales se alcanzaron velocidades de hidrólisis del orden de 97,8 mg/L.min. Martínez *et al.* (2012), trabajando con diferentes residuos agrícolas y de cantina a escala de laboratorio ha obtenido el siguiente potencial bioquímico de metano: granos de girasol (0,40 m<sup>3</sup>/kg.VS); granos de maíz (0,35 m<sup>3</sup>/kg.VS); yuca (0,32 m<sup>3</sup>/kg.VS); cáscara de boniato (0,32 m<sup>3</sup>/kg.VS); papa (0,30 m<sup>3</sup>/kg.VS); pan (0,30 m<sup>3</sup>/kg.VS); sorgo variedad 49 V-49-96 (0,30 m<sup>3</sup>/kg.VS), sorgo variedad 132-R (0,27 m<sup>3</sup>/kg.VS) y cáscara de maní (0,10 m<sup>3</sup>/kg.VS).

## PARTICULARIDADES

El desarrollo de cada una de estas técnicas se basa en protocolos y normas, nacionales e internacionales, las cuales son de estricto cumplimiento a la hora de la preparación de los diversos experimentos. Por supuesto que se debe constar con el equipamiento y la capacitación suficiente para poder asumir estos. En el caso cubano, esto es posible y factible ya que se cuenta con ambas premisas.

## ANÁLISIS EN CUBA

En Cuba son prácticamente desconocidas la co-fermentación y la utilización de pre tratamiento básicos y especiales para mejorar la cantidad y calidad del biogás obtenido, las plantas cubanas para la producción de biogás solo utilizan excretas vacunas, excretas porcinas o mezclas de ambas para estos fines en mono fermentación; por lo tanto la codigestión (co-fermentación) de estas excretas con residuos agrícolas, así como los pre tratamientos básicos y especiales no son empleados hasta el presente, de aquí la importancia de dar a conocer estas metodologías para el caso cubano. En este sentido se puede decir que en el caso cubano, los trabajos desarrollados por Martínez *et al.* (2014), con investigadores de la Universidad de Rostock y la Universidad de Hohenheim, Alemania desde el año 2007 hasta el presente, son algunos de los pocos existentes en estas temáticas, no obstante se conoce que en otros centros del país se trabaja la temática a nivel de proyectos de investigación, sin embargo, hasta el presente no se reportan estudios sistemáticos en esta esfera en nuestra literatura científica nacional. Por otra parte, la poca utilización de diferentes tipos de biomosas de origen agrícola y animal para la producción de biogás, el bajo rendimiento y calidad del biogás obtenido en las instalaciones cubanas. Pudiera ser resuelto si se enfrenta el siguiente **problema**: ¿Cómo mejorar la utilización, rendimiento y calidad de estos tipos de biomosas en el caso cubano? La respuesta a esta interrogante pudiera estar dada en la utilización de diferentes tipos de biomosas



which could represent an important opportunity to obtain a high biogas potential (methane), biofertilizers and to diminish the environmental contamination that these residuals cause when it pouring them indiscriminately to the environment.

## CONCLUSIONS

In accordance with that reported in the precedent investigations, it can be concluded that:

- These types of basic and special pretreatments are not used at the present time in the biogas facilities in Cuba.
- These technologies can be used to improve the production and quality of biogas that is generated in our country.
- It is demonstrated in the work that there is knowledge and the necessary equipment to carry out this type of research and development under the current conditions in Cuba.

## GRATEFULNESS

For the Territorial Project CITMA No. 0321. 2011. Title: "The Studies of the biogas production using different biomasses of agricultural and animal origin". 9pp.

de origen agrícola y animal; así como una adecuada preparación de las mismas (pre-tratamientos) anterior al proceso de biodigestión, lo cual pudiera representar una importante oportunidad para obtener un alto potencial de biogás (metano), biofertilizantes y disminuir la contaminación ambiental que estos residuos provocan al verterlos indiscriminadamente al medio ambiente.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con lo reportado en las investigaciones precedentes, se puede concluir que:

- Estos tipos de pre tratamientos básicos y especiales no se emplean en la actualidad en las instalaciones de biogás existentes en Cuba.
- Estas tecnologías pueden ser utilizadas para mejorar la producción y calidad del biogás que se genere en nuestro país.
- Queda demostrado en el trabajo que se dispone del conocimiento y equipamiento necesario para llevar a cabo este tipo de investigación y desarrollo bajo las condiciones actuales en Cuba.

## AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto de investigación CITMA Territorial No. 0321. 2011. "Estudio de la producción de biogás utilizando diferentes biomásas de origen agrícola y animal". 9pp.

## REFERENCES/REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APPELS, L.; DEGRÈVE, J.; VAN DER BRUGGEN, B.; VAN IMPE, J.; DEWIL, R.: "Influence of low temperature thermal pre-treatment on sludge solubilisation, heavy metal release and anaerobic digestion", *Bioresource Technology*, 101(15): 5743-5748, agosto de 2010, ISSN: 0960-8524, DOI: 10.1016/j.biortech.2010.02.068.
- APUL, O.G.; SANIN, F.D.: "Ultrasonic pretreatment and subsequent anaerobic digestion under different operational conditions", *Bioresource Technology*, 101(23): 8984-8992, diciembre de 2010, ISSN: 0960-8524, DOI: 10.1016/j.biortech.2010.06.128.
- BOUALLAGUI, H.; TOUHAMI, Y.; BEN CHEIKH, R.; HAMDI, M.: "Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes", *Process Biochemistry*, 40(3-4): 989-995, marzo de 2005, ISSN: 1359-5113, DOI: 10.1016/j.procbio.2004.03.007.
- BOUGRIER, C.; DELGENÈS, J.P.; CARRÈRE, H.: "Effects of thermal treatments on five different waste activated sludge samples solubilisation, physical properties and anaerobic digestion", *Chemical Engineering Journal*, 139(2): 236-244, 1 de junio de 2008, ISSN: 1385-8947, DOI: 10.1016/j.cej.2007.07.099.
- CARRÈRE, H.; DUMAS, C.; BATTIMELLI, A.; BATSTONE, D.J.; DELGENÈS, J.P.; STEYER, J.P.; FERRER, I.: "Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: A review", *Journal of Hazardous Materials*, 183(1-3): 1-15, 15 de noviembre de 2010, ISSN: 0304-3894, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.129.
- CASTELLÓ, E.; GARCÍA Y SANTOS, C.; IGLESIAS, T.; PAOLINO, G.; WENZEL, J.; BORZACCONI, L.; ETCHEBEHERE, C.: "Feasibility of biohydrogen production from cheese whey using a UASB reactor: Links between microbial community and reactor performance", *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(14): 5674-5682, julio de 2009, ISSN: 0360-3199, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.05.060.
- FERNÁNDEZ-GÜELFO, L.A.; ÁLVAREZ-GALLEGO, C.; SALES MÁRQUEZ, D.; ROMERO GARCÍA, L.I.: "Dry-thermophilic anaerobic digestion of simulated organic fraction of Municipal Solid Waste: Process modeling", *Bioresource Technology*, 102(2): 606-611, enero de 2011, ISSN: 0960-8524, DOI: 10.1016/j.biortech.2010.07.124.
- FERRER, I.; PONSÁ, S.; VÁZQUEZ, F.; FONT, X.: "Increasing biogas production by thermal (70 °C) sludge pre-treatment prior to thermophilic anaerobic digestion", *Biochemical Engineering Journal*, 42(2): 186-192, 1 de noviembre de 2008, ISSN: 1369-703X, DOI: 10.1016/j.bej.2008.06.020.
- FORSTER-CARNEIRO, T.; PÉREZ, M.; ROMERO, L.I.; SALES, D.: "Dry-thermophilic anaerobic digestion of organic fraction of the municipal solid waste: Focusing on the inoculum sources", *Bioresource Technology*, 98(17): 3195-3203, diciembre de 2007, ISSN: 0960-8524, DOI: 10.1016/j.biortech.2006.07.008.
- FORSTER-CARNEIRO, T.; RIAU, V.; PÉREZ, M.: "Mesophilic anaerobic digestion of sewage sludge to obtain class B biosolids: Microbiological methods development", *Biomass and Bioenergy*, 34(12): 1805-1812, diciembre de 2010, ISSN: 0961-9534, DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.07.010.
- FOSTER-CARNEIRO, T.; MONTSERRAT, P.I.R.; SCHVARTZ, C.: "Anaerobic Digestion. Pretreatments of Substrates", En: *Biogas production. Pretreatment methods in anaerobic digestion*, Ed. Scrivener-Publishing, USA, pp. 1-20, 2012, ISBN: 978-1-118-06285-2.

- GUO, L.; LI, X.M.; BO, X.; YANG, Q.; ZENG, G.M.; LIAO, D. xiang; LIU, J.J.: "Impacts of sterilization, microwave and ultrasonication pretreatment on hydrogen producing using waste sludge", *Bioresource Technology*, 99(9): 3651-3658, junio de 2008, ISSN: 0960-8524, DOI: 10.1016/j.biortech.2007.07.026.
- KURAKAKE, M.; IDE, N.; KOMAKI, T.: "Biological Pretreatment with Two Bacterial Strains for Enzymatic Hydrolysis of Office Paper", *Current Microbiology*, 54(6): 424-428, 8 de mayo de 2007, ISSN: 0343-8651, 1432-0991, DOI: 10.1007/s00284-006-0568-6.
- LEI, Z.; CHEN, J.; ZHANG, Z.; SUGIURA, N.: "Methane production from rice straw with acclimated anaerobic sludge: effect of phosphate supplementation", *Bioresource Technology*, 101: 4343-4348, 2010, ISSN: 0960-8524.
- LIN, J.G.; CHANG, C.N.; CHANG, S.C.: "Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by alkaline solubilization", *Biore-source Technology*, 62(3): 85-90, 1 de diciembre de 1997, ISSN: 0960-8524, DOI: 10.1016/S0960-8524(97)00121-1.
- MARTÍNEZ, H.C.M.; GARCÍA, Y.; BERNIA, R.: "Producción de biogás en condiciones de campo utilizando jeringas", En: *V Conferencia Internacional sobre Desarrollo Agropecuario y Sostenibilidad «AGROCENTRO 2012»*, Ed. Feijóo, Villa Clara, Cuba, 2012, ISBN: 978-950-250-775-3.
- MARTINEZ, H.C.M.; OECHSNER, H.; BRULÉ, M.; MARAÑÓN, M.E.: "Estudio de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas de residuos orgánicos a utilizar en la producción de biogás en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2): 63-69, junio de 2014, ISSN: 2071-0054.
- MEUNCHANG, S.; PANICHSAKPATANA, S.; WEAVER, R.W.: "Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill", *Bioresource Technology*, 96(4): 437-442, marzo de 2005, ISSN: 0960-8524, DOI: 10.1016/j.biortech.2004.05.024.
- MOTTET, A.; STEYER, J.P.; DÉLÉRIS, S.; VEDRENNE, F.; CHAUZY, J.; CARRÈRE, H.: "Kinetics of thermophilic batch anaerobic digestion of thermal hydrolysed waste activated sludge", *Biochemical Engineering Journal*, 46(2): 169-175, 1 de octubre de 2009, ISSN: 1369-703X, DOI: 10.1016/j.bej.2009.05.003.
- PILLI, S.; BHUNIA, P.; YAN, S.; LEBLANC, R.J.; TYAGI, R.D.; SURAMPALLI, R.Y.: "Ultrasonic pretreatment of sludge: A review", *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(1): 1-18, enero de 2011, ISSN: 1350-4177, DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.02.014.
- TAHERZADEH, M.J.; KARIMI, K.: "Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review", *International journal of molecular sciences*, 9(9): 1621-1651, 2008.
- TANIGUCHI, M.; SUZUKI, H.; WATANABE, D.; SAKAI, K.; HOSHINO, K.; TANAKA, T.: "Evaluation of pretreatment with *Pleurotus ostreatus* for enzymatic hydrolysis of rice straw", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100(6): 637-643, diciembre de 2005, ISSN: 1389-1723, DOI: 10.1263/jbb.100.637.
- VDI E.V.: *Fermentation of organic material characterization of substrate, sampling collection of material data, fermentation tests*, [en línea], no. 4630, Inst. VDI-Richtlinien, Berlin, p. 92, 2014, Disponible en: [http://www.vdi.eu/uploads/tx\\_vdirili/pdf/2069983.pdf](http://www.vdi.eu/uploads/tx_vdirili/pdf/2069983.pdf), [Consulta: 21 de junio de 2016].
- WILSON, C.A.; NOVAK, J.T.: "Hydrolysis of macromolecular components of primary and secondary wastewater sludge by thermal hydrolytic pretreatment", *Water Research*, 43(18): 4489-4498, octubre de 2009, ISSN: 0043-1354, DOI: 10.1016/j.watres.2009.07.022.
- ZHONG, W.; ZHANG, Z.; QIAO, W.; FU, P.; LIU, M.: "RETRACTED: Comparison of chemical and biological pretreatment of corn straw for biogas production by anaerobic digestion", *Renewable Energy*, 36(6): 1875-1879, 1 de junio de 2011, ISSN: 0960-1481, DOI: 10.1016/j.renene.2010.12.020.

Received: 20/11/2015.

Approved: 03/06/2016.

Carlos M. Martínez Hernández, Prof. Titular. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuani km.5.5. CP: 54830. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. Tel: 53-42-281692. Fax: 53-42-281608. Correo electrónico/E-mail: [carlosmh@uclv.edu.cu](mailto:carlosmh@uclv.edu.cu)

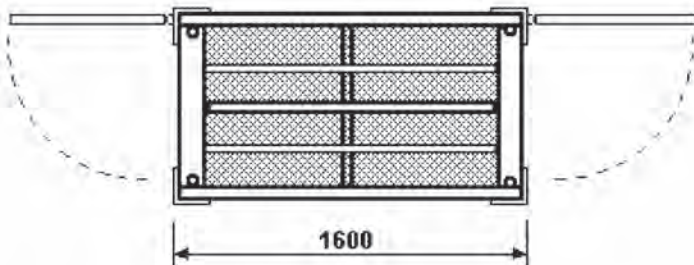
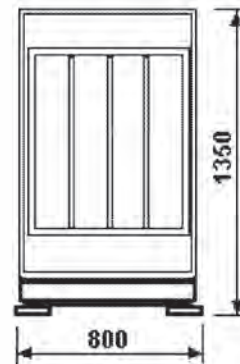
Yaser García López, Correo electrónico/E-mail: [carlosmh@uclv.edu.cu](mailto:carlosmh@uclv.edu.cu)



**MAQUINARIA AGRICOLA &  
INSTRUMENTOS DE MEDICION**

# BALANZAS PARA CERDOS Y OVINOS

**CEMA TED - 500**



Display digital

Capacidad hasta 500 kg.

Precisión de 0,2 kg.

Presentación de la lectura: Digital (5 dígitos LCD).

Dimensiones de la plataforma: 1600 x 800 mm.

Altura de la jaula: 1350 mm.

Superficie de la plataforma: Metálica con  
alfombra de goma.

**Solicitudes de ofertas a:**

Dr.C. Ernesto Ramos Carbajal  
Centro de Mecanización Agropecuaria  
Autopista Nacional y Carretera de  
Tapaste. km 23, San José de las Lajas,  
Mayabeque, Cuba. Apdo. 18-19  
Tel.: (53)(47) 864346  
E\_mail: carbajales@unah.edu.cu



### **A NUESTROS COLABORADORES**

*Las instrucciones para la presentación de los trabajos y otros detalles relacionados con la recepción de artículos, aparecen en el reverso de la contracubierta de la revista con el título: **NORMAS DE PRESENTACIÓN**. Pueden publicar en la revista investigadores, profesores y especialistas cubanos y extranjeros.*



## **TEMAS QUE SE PUBLICAN**

- **Agricultura de Conservación.**
- **Construcción de operación de máquinas e implementos agrícolas y pecuarios.**
- **Explotación y administración de la maquinaria agrícola.**
- **Pruebas de tractores y máquinas agrícolas.**
- **Fiabilidad, reparación y mantenimiento de las máquinas agrícolas y tractores.**
- **Portadores energéticos y uso de los desechos en la producción de energía renovable.**
- **Computación y matemáticas aplicadas a la Ingeniería Agrícola.**
- **Construcciones e instalaciones pecuarias.**
- **Protección del medio ambiente rural.**
- **Suelo y agua.**
- **Docencia y capacitación en la Ingeniería Agrícola.**
- **Tracción animal.**
- **Otros temas de Ingeniería Agrícola.**

### *Informaciones*

Para cualquier otra información sobre la revista dirija su correspondencia a:



#### **Solicitudes de ofertas a:**

Dr.C. Ernesto Ramos Carbajal  
Centro de Mecanización Agropecuaria  
Autopista Nacional y Carretera de  
Tapaste. km 23, San José de las Lajas,  
Mayabeque, Cuba. Apdo. 18-19  
Tel.: (53)(47) 864346  
E\_mail: carbajales@unah.edu.cu