

*Higiene y Sanidad Ambiental*, **19** (3): 1765-1774 (2019)

## **Co-digestión del purín de cerdo y la *Eichornia crassipes*: alternativa para el manejo de estos residuos en Cuba**

### **CO-DIGESTION OF PORK WASTEWATER AND EICHORNIA CRASSIPES: ALTERNATIVE FOR THE MANAGEMENT OF THIS WASTE IN CUBA**

Noel Severino PÉREZ DUARTE<sup>1</sup>, Nely CARRERAS ARROYO<sup>2</sup>, Karelis CHAMIZO HERRERA<sup>3</sup>, Matías Román PÉREZ DUARTE<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Higiene Comunal, Dirección de Salud Ambiental, Área de Higiene y Epidemiología, Ministerio de Salud Pública, Cuba. Correo-e: noelspd1961@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Medio Ambiente, División de Suelos y Geología Ambiental, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, España. Correo-e: nely.carreras@ciemat.es

<sup>3</sup> Laboratorio de Entomología, Centro Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología de La Habana, Cuba. Correo-e: karelischamizo@gmail.com

<sup>4</sup> Delegación Provincial de Pinar del Río del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Cuba. Correo-e: matvei.pr@gmail.com

---

#### **RESUMEN**

Las aguas residuales porcinas poseen una elevada carga contaminante y contienen un alto contenido de nutrientes, sin embargo, su tratamiento mediante procesos anaeróbicos posee como inconveniente la baja relación carbono-nitrógeno, lo cual puede mejorarse digerido con otros sustratos. El presente trabajo tiene como objetivo proporcionar una visión general de la co-digestión anaeróbica del purín de cerdo y la *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua), como alternativa para el manejo de estos residuos. Para la realización del mismo se aplicaron los métodos teóricos tales como: histórico-lógico, análisis-síntesis, inducción-deducción y el hipotético-deductivo, mientras que como método empírico se utilizó la revisión documental. En el trabajo se aborda el desarrollo de los procesos anaeróbicos y las tendencias actuales en el mundo y en Cuba, las limitaciones de la digestión anaeróbica y la factibilidad de la co-digestión de este residual con otros sustratos, en particular con el jacinto de agua proporcionando además de una mejora en el proceso, mayor producción de biogás.

**Palabras clave:** Co-digestión, purín de cerdo, aguas residuales, *Eichornia crassipes*, jacinto de agua, residuos.

#### **ABSTRACT**

Pig wastewaters have a high pollutant load and contain high nutrient content as well; however, their treatment by anaerobic processes has as a disadvantage the low carbon-nitrogen ratio, which can be improved if digested with other substrates. The aim of this paper is to provide an overview of the anaerobic co-digestion of pig wastewater and *Eichornia crassipes* (water hyacinth) as an alternative for the management of this waste. For this, theoretical methods were applied such as: historical-logical, analysis-synthesis, induction-deduction and hypothetical-deductive, while as an empirical method a documentary review was used. The paper also addresses the development of anaerobic processes and current trends all over the world and in Cuba, the anaerobic digestion limitations and the feasibility of the co-digestion of this waste with other substrates, in particular with water hyacinth providing in addition to an improvement in the process, greater production of biogas.

**Keywords:** Co-digestion, pig wastewater, pig manure, *Eichornia crassipes*, water hyacinth, waste.

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales porcinas (purines de cerdo) constituyen un residual de una elevada carga contaminante que al ser dispuestos a un cuerpo receptor ocasionan su contaminación, reducen el oxígeno disuelto y promueven el crecimiento desmesurado de la vegetación acuática.

Este residual contiene un alto contenido de nutrientes, sin embargo, su tratamiento mediante procesos anaeróbicos posee como inconveniente que la relación carbono/nitrógeno (C/N) no es muy favorable debido a que no es una fuente de carbono importante.

La *Eichornia crassipes*, cuyo nombre común es el jacinto de agua, es una planta invasora en Cuba que crece en las masas de agua, fundamentalmente en aquellos que sirven de cuerpo receptor de aguas residuales, llegando a constituir en ocasiones un problema ambiental asociado a la proliferación de vectores mosquitos de diferentes especies que ocasionan molestias públicas a los habitantes de comunidades cercanas.

Por otra parte, la co-digestión anaerobia de sustratos orgánicos es un proceso que aprovecha el efecto sinérgico de dos o más sustratos, los cuales en conjunto pueden aportar una mejor relación C/N, lo que facilita una mayor biodegradabilidad del residual por vía anaerobia, pudiendo obtenerse no solo mayores cantidades de biogás sino también mayores porcentajes de gas metano.

La co-digestión del purín con el Jacinto de Agua triturado pudiera representar una alternativa para lograr mejores resultados en los procesos de digestión anaerobia para lo cual sería importante la realización de ensayos de biodegradabilidad.

Con el presente trabajo tiene como objetivo proporcionar una visión general de la co-digestión anaeróbica del purín de cerdo y la *Eichornia crassipes*, como alternativa para el manejo de estos residuos y para mejorar la producción de biogás.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo se aplicaron métodos teóricos tales como: el histórico-lógico para abordar el desarrollo de los procesos anaeróbicos en el mundo y las tendencias actuales, así como para relacionar las tecnologías de tratamiento que más se utilizan en Cuba. El análisis-síntesis para valorar el objeto de estudio por separado y luego integrarlo como proceso. La inducción-deducción para razonar acerca de las particularidades del proceso anaeróbico en general y del purín de cerdo en particular, en codigestión con diferentes sustratos y el hipotético-deductivo para fundamentar la codigestión de ambos residuos. Como método empírico se utilizó la revisión documental orientada a la revisar artículos científicos divulgados sobre el tema en cuestión.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### La digestión anaerobia, el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales y la producción de biogás

La producción de biogás y la aplicación consciente de la digestión anaerobia con tales fines data desde hace cientos de años, no así la aplicación del tratamiento anaerobio de aguas residuales que toma fuerza a partir de los años 70, gracias a los adelantos tecnológicos y a la generación de nuevos reactores que han permitido tratar aguas residuales diluidas. Los antecedentes de estos procesos han sido resumidos por diferentes autores (Lettinga, 2014; Abbasi et al, 2012; Penn State College of Agricultural Sciences, 2016).

La digestión anaerobia consiste en procesos metabólicos secuenciales que ocurren en ausencia de oxígeno molecular y depende de la actividad de al menos tres grupos distintos de microorganismos, para promover una fermentación estable y autorregulada de la materia orgánica que resulta principalmente en una producción de gases, principalmente metano y dióxido de azufre y se realiza en cuatro etapas que son: la hidrólisis, la acidogénesis, la acetogénesis y la metanogénesis (Moraes et al, 2015; Zhang et al, 2015).

Existen un grupo de factores que pueden afectar el tratamiento anaerobio, ellos son: temperatura, pH, alcalinidad, ácidos grasos, nutrientes, relación C/N, amonio, sustancias tóxicas, variaciones de las tasas hidráulicas y orgánicas, mezclado y la presión parcial de hidrógeno, cuya influencia ha sido estudiada por diversos autores (Lettinga et al., 2001; Leitao et al., 2006; Leslie Grady et al, 2011; Riffat, 2013; Moraes et al., 2015; Zhang et al., 2015; Chávez et al., 2005; Lorenzo y Obaya, 2005; Dioha et al., 2013; Wang et al., 2014; Porras, 2015; Milán et al., 2010).

Según la bibliografía consultada (Dioha et al., 2013), la producción óptima de biogás está en el rango de la relación carbono a nitrógeno de 20-30: 1, pudiéndose apreciar cómo esta relación en el caso del purín de cerdo, es la más baja teniendo también bajas producciones de biogás (Tabla 1).

La tecnología de tratamiento anaerobio de aguas residuales ha tenido un desarrollo significativo a partir de la reintroducción de los filtros anaerobios por Young y McCarty en la década del 60, implementándose nuevas generaciones reactores cuyas características técnicas y principales resultados de estudios realizados aparecen en la bibliografía consultada (Tchobanoglous et al., 2004; Leslie Grady et al., 2011; van Haandel et al., 2006; López et al., 2008; Seghezzi et al., 1998; Lettinga, 2014; Mutombo, 2004; Vivanco et al., 2003; Moleta, 2010; Barber and Stuckey, 1999; Skouteris et al., 2012; Singh, 2011; Zaiat et al., 2001; Farina et al., 2004).

Entre otros reactores se pueden relacionar los siguientes:

- Filtro anaeróbico (AF, siglas en inglés).
- Reactor anaeróbico de manto de lodo de flujo ascendente (UASB, siglas en inglés).
- Reactor anaeróbico de lecho expandido granular (EGSB, siglas en inglés).
- Reactor de circulación interna (IC, siglas en inglés).
- Reactor anaeróbico de biopelícula de lecho móvil (AMBBR; siglas en inglés).
- Biorreactor anaeróbico (ABR, siglas en inglés).
- Biorreactor anaeróbico de membrana (AnMBR, siglas en inglés).
- Reactor anaeróbico secuencial en "batch" (ASBR; siglas en inglés).

Residuos	Producción de biogás ( $m^3/Kg$ sólidos)	Relación C:N
Excreta ovina	0,70	24:1
Estiércol vacuno	0,50	13:1
Excreta equina	0,55	22:1
Excreta avícola	0,35	15:1
Excreta porcina	0,028	10:1

Fuente: Dioha et al., 2013.

**Tabla 1.** Relación carbono-nitrógeno y producción de biogás a partir de algunos residuos.

Las elevadas tasas de carga orgánica con aceptable eficiencia y buena producción de gas metano, reportadas por diferentes autores señaladas en la tabla que aparece más abajo hacen que estos reactores puedan ser utilizados en el tratamiento de aguas residuales de alta fortaleza orgánica (Tabla 2).

No obstante, el filtro anaeróbico (AF) y el reactor anaeróbico de manto de lodo de flujo ascendente (UASB) son los más utilizados en Cuba.

Tipo de reactor	ORL ( $Kg DQO/M^3.d$ )
AF (a)	11
UASB (b)	5 – 15
EGSB (b)	25
IC (b)	35
AMBBR (c)	24
ABR(d)	4 – 8
AnMBR (e)	10
ASBR (f)	4

Fuentes: a) López et al., 2008; b) Mutombo, 2004; c) Moleta, 2010; d) Barber & Stuckey, 1999; e) Skouteris et al., 2012; f) Farina et al., 2004.

**Tabla 2.** Tasas de carga orgánica (ORL, siglas en inglés) de reactores anaerobios.

## El tratamiento de los residuales líquidos porcinos en Cuba

De forma general existen diferentes alternativas de reutilización, reciclaje y valorización de los residuales porcinos que van desde su uso directo como fuente proteica en la alimentación de diferentes especies de animales o en la fertilización de cultivos y/o estanques de peces, la producción de energía (biogás), hasta el uso de los lodos digeridos en la producción de humus (Dominguez, 2003).

Las tasas de producción de biogás y el aporte de nitrógeno y fósforo en la excreta porcina, así como el estimado de producción anual tomando como base granjas de 100 cerdos, es un indicador del potencial que tienen estos residuos (tabla 3).

En la actualidad las tecnologías de tratamiento de los purines están sujetas al tipo de instalación porcina, es decir, si se trata de grandes granjas pertenecientes al sector estatal especializado o pequeñas granjas pertenecientes a los convenios porcinos con cooperativas.

Las granjas integrales porcinas poseen diferentes capacidades (llegaban hasta 25000 cerdos) y el volumen y características dependían de la alimentación que se le daba al animal (generalmente a base de miel, pienso líquido y pienso seco) y del método de limpieza de las naves (con agua a presión) que producen un volumen de vertido aproximadamente de 60 a 80 litros diariamente por cerdo de 100 Kg de peso (Juantorena et al., 2000).

Las características de los residuales porcinos han sido estudiadas por diferentes autores de diferentes regiones (Viñas; Li et al, 2013; Garzón-Zúñiga, 2014) coincidiendo en todos los casos que se trata de un residual con una elevada fortaleza orgánica y contenido de nutrientes (tabla 4).

En nuestro país las concentraciones de sólidos son también altas y la fracción volátil alcanza hasta un 77 % de los sólidos totales.

Las aguas residuales de las granjas porcinas estatales tenían una tecnología convencional formada por una línea de agua y una de fango. La primera con pre-tratamiento, tratamiento primario con sedimentador y trampa de fibras y un sistema de lagunas en serie, mientras que los lodos extraídos del sedimentador y los sólidos flotantes se trataban mediante digestores anaeróbicos y lechos de secado.

Juantorena et al., (2000) estudiaron otras alternativas de tratamiento y obtuvieron los mejores resultados, con relación a la remoción de la materia orgánica de la fracción líquida, en el reactor UASB y en fotobiorreactores (cultivadores) de película fina, donde también se obtiene una biomasa que puede ser utilizada como fuente de vitaminas y proteínas, así como agua con posibilidades de reuso. La fracción sólida de estos sistemas se trata en un digestor.

Producto	Tasa de producción	Producción diaria	Producción anual	Equivalencia
Biogás, m <sup>3</sup>	0,40 – 0,55 m <sup>3</sup> /Kg SV	11 – 15	4015 – 5475	2,1 – 2,7 t de “fuel oil”
Nitrógeno, Kg	28,6 g diario/cerdo	2,86	1043,9	2,24 t de urea
Fósforo, Kg	7,0 g diario/cerdo	0,7	255,5	1,27 t de superfosfato triple

Fuente: Domínguez, 2003.

**Tabla 3.** Estimación de los recursos potenciales de las excretas porcinas (base de cálculo: granja con 100 cerdos).

Parámetros	Viñas <sup>1</sup>	Li et al., 2013 <sup>2</sup>	Garzón-Zúñiga et al., 2014 <sup>3</sup>
pH	6,4 – 7,1	-	7,06
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	7 800 – 12 400	1 984	9 613
DQO (mg/l)	17 300 – 25 400	5 609	19 344
ST (mg/l)	11 000 – 20 000	-	-
SST (mg/l)	7 700 – 14 200	465	10 125
STV (mg/l)	70 -77 % ST	-	-
SSV (mg/l)	-	-	7 875
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	-	1 476	1 500
F. Total (mg/l)	-	81,8	-

Nota: <sup>1</sup> Hasta 25 000 cerdos, <sup>2</sup> Granjas de cría intensiva, <sup>3</sup> Porcino 5 000 cerdos.

**Tabla 4.** Características de los residuales porcinos según diferentes autores.

Viñas et al. (2016), realizaron un estudio del residual porcino en un reactor UASB a escala de laboratorio a 25 °C de temperatura y con cargas aplicadas que oscilaron entre 3,8 y 8,7 Kg DQO/m<sup>3</sup>.d y tiempos de retención hidráulicos de 1,5 a 4 días, alcanzando una productividad de 0,91 a 1,66 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/d, por lo que recomienda como tecnología para el tratamiento de los residuales porcinos la siguiente: tratamiento preliminar, reactor UASB de doble etapa y laguna de estabilización, llevando los sólidos digeridos a un lecho de secado.

Mientras que Santiago et al. (1996), recomiendan como tecnología para el tratamiento de residuales de instalaciones porcinas que oscilan entre 2500 y 5000 cerdos, aquella conformada por un pre-tratamiento y una laguna con cultivos de Lemnaceae (géneros *Spirodella*, *Lemna* y *Wolffia*) donde obtuvo eficiencias de más de un 90 % de remoción en los indicadores de contaminación. Esta planta acuática constituye un alimento excelente para la cría de aves y peces y plantea que el efluente puede utilizarlo para el riego de vegetales.

En los últimos años se ha intensificado en nuestro país el uso de biogás a partir del manejo de los residuos orgánicos, lo cual ha contribuido a las acciones

para minimizar la emisión de estos gases de efecto invernadero, existiendo en la actualidad aproximadamente 1000 biodigestores entre el sector estatal y el cooperativo-campesino (Ceballos, 2016).

La implementación de biodigestores como una forma de valorización del estiércol mediante la producción de energía alternativa y por ferti-irrigación de cultivos, es una actividad que ha cobrado gran interés por parte del sector porcícola.

A partir de los años 90 se comenzó un proyecto con la colaboración alemana y se generalizaron biodigestores del tipo cúpula fija o tipo chino. En la actualidad existen 9 proyectos de colaboración, en tramitación o ejecución, con el Programa de Pequeñas Donaciones de las Naciones Unidas, el cual comprende más de 500 unidades de digestores tubulares (Ceballos, 2016).

Este sistema de manejo del estiércol y de aguas residuales porcinas aplica, en todos sus términos, el concepto de producción más limpia porque va más allá de realizar un manejo adecuado de los residuos y adicionalmente se obtiene un valor añadido.

El biodigestor es un tanque construido de hormigón y/o mampostería de ladrillo, fibra de vidrio o de acero inoxidable o de material plástico en el caso del

biodigestor tipo tubular donde se produce la fermentación anaeróbica. Los mismos poseen un gasómetro para el almacenamiento del gas, pudiendo estar con el biodigestor en un solo cuerpo o estar separado; así como tienen un tanque de descarga para recibir el material o efluente.

Según la bibliografía consultada (Carreras, 2016; Sosa et al., 1999), los tipos de biodigestores que más se utilizan en el mundo y también en Cuba para el tratamiento de los purines son: de cúpula fija o tipo chino, de cúpula móvil (tambor flotante) o tipo hindú y tubular o tipo taiwanés.

Los biodigestores de cúpula fija son el tipo más propuesto por los ingenieros y proyectistas para el tratamiento de los residuales agropecuarios en el país, ya que es una tecnología simple que además de energía y biofertilizante, controla y disminuye la carga contaminante, obteniéndose hasta un 80 % de remoción de la misma (Alonso et al., 2014).

No obstante, algunos autores (Sosa et al., 2006) consideran que los biodigestores tubulares hechos de polietileno es uno de los sistemas más prometedores para su uso por pequeños productores y consideran que debe seguirse profundizando en su funcionamiento y dimensionamiento, aunque en su estudio observaron que funcionan mejor mientras mayor sea la relación diámetro-largo. Mientras en otro estudio en una instalación de 20 cerdos, se obtuvo una remoción de un 71 % de la DQO y una producción diaria de biogás de 3,49 m<sup>3</sup> (Chao et al., 2008).

De forma general (Espinosa, 2010), una solución eficiente para el tratamiento de los residuales de pequeñas instalaciones porcinas se logra mediante el uso de biodigestores y trampa de sólidos y tratar el efluente líquido en sistemas de lagunas facultativas o en zanjas de infiltración como alternativa cuando no se cuenta con el área o la topografía adecuada, trasladando los sólidos hacia lechos de secado.

En la actualidad las tecnologías de tratamiento de los purines en Cuba están sujetas al tipo de instalación porcina. Las granjas porcinas estatales cuentan con tratamiento convencional conformada por una línea de agua y una de lodo, aunque se han desarrollado otras tecnologías utilizando reactores UASB y a continuación sistemas de lagunas, siendo común la presencia de un proceso anaeróbico, ya sea un reactor UASB para aguas residuales o un digestor para los lodos. Mientras que en las granjas porcinas pequeñas, generalmente particulares, cuentan con un biodigestor como primer órgano de tratamiento, siendo el de cúpula fija el más utilizado con una tendencia al incremento de los biodigestores de tipo tubular.

### **El Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) como impacto ambiental negativo para los ecosistemas acuáticos y su posible solución**

El jacinto de agua, planta vascular, flotadora, acuática y perenne, se ha convertido en un grave problema en lagos y ríos en los trópicos y subtrópicos

de todo el mundo, siendo además altamente invasora con graves consecuencias ecológicas y socioeconómicas en los lugares donde ha sido introducida (Soto, 2007; Rodríguez, 2003).

En Cuba es la planta más común que crece en los cuerpos de agua lo que ha conllevado a que en algunas provincias se estén ejecutando planes de manejo para su control, cuyas acciones consisten fundamentalmente en su extracción mecánica de los espejos de agua y su posterior empleo como fuente de biomasa para la producción de energía y alimentación animal (Ramírez, 2015).

En los últimos años se ha utilizado en el tratamiento de aguas residuales y como suplemento alimenticio para los animales acuáticos y terrestres (Nallathambi, 1997). En la actualidad su uso se ha extendido a la producción de compost y de biogás, favorecida por su contenido de nitrógeno y su relación C/N (Gunnarsson and Mattsson, 2007; López, 2012). No obstante, se ha observado que se obtienen mejores resultados cuando se co-digiere con estiércol u otros residuos de origen animal como la camada de aves de corral (Patil et al., 2014; Patil et al., 2012).

### **Co-digestión de sustratos**

El término de co-digestión se utiliza para expresar la digestión anaerobia conjunta de dos o más sustratos de diferente origen, siendo su ventaja principal la sinergia de las mezclas, compensando las carencias de cada uno de los sustratos de diferente origen por separado.

Existen experiencias positivas de la co-digestión de aguas residuales de diferentes tipos con residuos orgánicos, resultando de forma general en una mayor producción de biogás y/o incremento del porcentaje de metano (Dareioti et al., 2009; Adebayo et al., 2015; Chungsiriporn et al., 2013; García, 2009; Esteban, 2014; Quiroga, 2014; Lobato, 2012).

Los residuos ricos en proteínas y consecuentemente con alto contenido de nitrógeno se generan principalmente en las industrias procesadoras de carne, mataderos y granjas (estiércol animal), los cuales presentan un contenido orgánico elevado con una DBO<sub>5</sub> también elevada, pero con una relación C/N baja (Espósito et al., 2012).

La co-digestión del estiércol de vaca y el jacinto de agua ha sido estudiada por diferentes investigadores (Fekadu, 2014; Hassan et al, 2014; Oke and Thelma, 2015; Pachaiyappan et al, 2014), obteniéndose buenos resultados con relación a las producciones de biogás asociadas a la co-digestión en reactores trabajando en rango mesofílico y con agitación continua.

La digestión anaerobia con purines de cerdo es poco viable económicamente debido a las bajas producciones de biogás obtenidas, teniendo como principales limitaciones la baja biodegradabilidad, comparada con otros tipos de residuos y el alto

contenido de amonio, importante inhibidor del proceso anaerobio (Campos, 2001).

A estas limitaciones se le une su relativamente baja relación C/N, siendo este un factor que incide negativamente en la producción de biogás. Sin embargo, su amplia variedad de nutrientes, fundamentalmente nitrógeno y fósforo, necesarios para el crecimiento de microorganismos anaerobios, el elevado contenido de agua en comparación con otros sustratos y su capacidad tampón (Guzmán y Guzmán, 2015), lo hacen ser un buen sustrato para la co-digestión con otros sustratos que posean un alto contenido de carbono.

Por otra parte, los residuos orgánicos de origen vegetal poseen celulosa, hemicelulosa y lignina lo que los hacen tener un elevado contenido de carbono orgánico. Y precisamente la *Eichornia crassipes* tiene estas características lo que al ser mezclada con los residuales líquidos porcinos, debe mejorar la relación C/N, la biodegradabilidad de la mezcla de ambos sustratos e incrementar la producción de biogás.

Es factible la combinación de co-sustratos para incrementar la producción de metano, que algunos de ellos cuentan con características complementarias tales como el contenido de alcalinidad y nitrógeno orgánico, como es el caso del purín de cerdo, ofreciendo una solución a la deficiencia de nitrógeno y potencial de generación de acidez de algunos residuos (Martínez, 2013).

La mezcla de purín de cerdo con el jacinto de agua debe provocar un aumento del contenido de fibra total, pero sobre todo un aumento de la concentración del contenido de celulosa y materia orgánica, así como la evolución de producción acumulada de metano debe seguir una tendencia en función de la cantidad de sustrato añadido.

Antes de poner en práctica un proceso de co-digestión deben llevarse a cabo ensayos de biodegradabilidad que es un procedimiento común utilizado para medir el biogás producido por los microorganismos durante la degradación de los sustratos orgánicos y que tiene como objetivo determinar la biodegradabilidad máxima, así como la máxima producción de metano del purín de cerdo y del jacinto de agua en mono sustrato y en co-digestión, lo que permitirá determinar la idoneidad del sustrato.

Para ello, la mezcla de sustratos o los sustratos de forma independiente se sitúan en condiciones óptimas en reactores anaerobios que funcionan en "batch" o discontinuo durante un período tiempo durante el cual se mantiene la agitación y una temperatura constante.

Según la bibliografía consultada (Moreno-Andrade et al., 2014), los resultados obtenidos en estos ensayos pueden ser afectados, no solo por la temperatura, el pH y la agitación, sino que también existen otros factores de importancia, entre los cuales está la razón de la concentración inicial de sustrato y la concentración de microorganismos, la cual influye

de forma significativa sobre la actividad metanogénica específica y no es tomada en cuenta en la mayoría de los procedimientos.

La influencia del inóculo, tamaño de partícula y relación inóculo/sustrato sobre la producción de metano ha sido estudiada por algunos investigadores (Costa et al, 2014), observándose el efecto positivo para una razón específica de inóculo/sustrato.

Precisamente el lodo anaeróbico proveniente de un reactor UASB de una planta de tratamiento de residuales líquidos de una industria de cerveza fue utilizado como inóculo en un ensayo de biodegradabilidad del purín de cerdo de una granja intensiva obteniéndose buenos resultados (Tapia et al, 2014). No obstante este resultado, se recomienda la utilización de un inóculo procedente del tratamiento de sustratos o residuos con el mismo origen que el sustrato en estudio.

Posteriormente, después de determinado cuál es el sustrato o combinación de sustrato más idóneo, se realiza el ensayo en semicontinuo, que tiene como objetivo la optimización del proceso de digestión del sustrato o de la mezcla de los dos sustratos y el estudio de posibles factores de inhibición del proceso, determinando las condiciones de operación para un reactor anaeróbico continuamente agitado.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo constituye el marco teórico para el desarrollo de un proyecto de investigación sobre la co-digestión anaeróbica del purín de cerdo y la *Eichornia crassipes*, como alternativa para el manejo en Cuba de estos residuos y mejorar la producción de biogás.

La temperatura, el pH, la alcalinidad, los ácidos grasos, los nutrientes, la relación C/N, el amonio, las sustancias tóxicas, las variaciones en las tasas hidráulicas y orgánicas, el mezclado y la presión parcial de hidrógeno constituyen factores de gran importancia a tener en cuenta en los reactores anaeróbicos donde se lleva a cabo el proceso de co-digestión.

La co-digestión del jacinto de agua pudiera implementarse en reactores UASB o digestores de granjas porcinas grandes como en los biodigestores de los porcinos particulares.

La aplicación de la tecnología de co-digestión anaerobia de aguas residuales, como vía para compensar las carencias de cada uno de los sustratos de diferente origen por separado para la obtención de biogás, es una tecnología que está en ascenso en diferentes países del mundo

La co-digestión del purín de cerdo con la *Eichornia crassipes* constituye una vía para aprovechar los contenidos de nutrientes y la capacidad "buffer" del residual porcino y el contenido de carbono con una relación carbono-nitrógeno tan favorable de la especie vegetal, lo cual debe mejorar la eficiencia del tratamiento anaeróbico y el incremento de la producción de biogás.

Los ensayos de biodegradabilidad y ensayo en semicontinuo, permitirán la determinación de la idoneidad del sustrato y las condiciones de operación de un reactor completamente mezclado respectivamente.

Se recomienda la realización de un proyecto de investigación sobre la co-digestión del purín de cerdo y la *Eichornia crassipes* como alternativa para el manejo de estos residuos en Cuba, que incluya la evaluación del proceso a escala real en un reactor de un sistema de tratamiento de una granja porcina estatal y en un biodigestor de una pequeña instalación porcina.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi T. et al. A brief history of anaerobic digestion and "biogas". In: Abbasi T. et al. *Biogas Energy*. 2012; Springer Briefs in Environmental Science 2. [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-1040-9\\_2#page-1](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-1040-9_2#page-1)
- Adebayo A.O., Jekayinfa S.O. and Linke B. Effect on co-digesting pig slurry with maize stalk on biogas production at mesophilic temperature. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*. 2015 August 2(8). <http://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42351022.pdf>
- Alonso D., Lorenzo Y., Díaz Y.M., Sosa R. y Angulo Y. Tratamiento de residuales porcinos para la producción de biogás. *ICIDCA*. 2014; 48(3). <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223132853003.pdf>
- Barber W.P. and Stuckey D.C. The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: a review. *Water Resources*. 1999; 33(7). [http://ac.els-cdn.com/S0043135498003716/1-s2.0-S0043135498003716-main.pdf?\\_tid=3a80ad52-28a3-11e6-a5ec-00000aab0f27&acdnat=1464859400\\_bec6690dfca82d6fa883250618fa3d5e](http://ac.els-cdn.com/S0043135498003716/1-s2.0-S0043135498003716-main.pdf?_tid=3a80ad52-28a3-11e6-a5ec-00000aab0f27&acdnat=1464859400_bec6690dfca82d6fa883250618fa3d5e)
- Campos E. Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria alimentaria. Tesis doctoral. 2001; Universitat de Lleida. <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/8229/Tecp1de1.pdf?sequence=1>
- Carreras N. Tratamiento de efluentes agropecuarios. En: *Curso en Gestión y Tratamiento de Residuos Líquidos*, Epígrafe 2,5 Técnicas de tratamiento de efluentes agropecuarios. Madrid: UAM, 2016. <https://formacion.uam.es/mod/folder/view.php?id=34246>
- Ceballos A. Biogás, para el beneficio del medio ambiente y la población. *Periódico Granma*. 2016 Mayo 12. <http://www.granma.cu/cuba/2014-07-08/biogas-para-el-beneficio-del-medio-ambiente-y-la-poblacion>
- Chao R., Sosa R., Pérez A.A. and Cruz E. A study on pig wastewater treatment with low cost biodigesters. *Livestock Research for Rural Development*. 2008]; 20(9). <http://www.lrrd.org/lrrd20/9/chao20149.htm>
- Chávez M., Tajada R., Mejías D., Chacín E. y Fernández N. Actividad enzimática del lodo granular en reactor UASB tratando efluente lácteo. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 2005; 39(3). <http://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/45/45>
- Chungsiriporn J., Kongdang C., Aromsukho A. and Junpitak K. Biogas production from co-digestion of pig feces and agricultural waste. *Monography*. 2013 August 19. Prince of Songkla University. <http://rdo.psu.ac.th/en/news/2013Features-11.php>
- Costa J.C., Olivera J.V. and Alves M.M. Influence of inoculum, particle size and inoculum - substrate ratio on CH<sub>4</sub> production from *Ulex* sp. En: *Memorias del XI Taller y Simposio Latinoamericano de Digestión Anaerobia*, La Habana, 2014.
- Dareioti M.A., Dokianakis S.N., Stamatelatos K., Zafiri C. and Komaros M. Biogas production from anaerobic co-digestion of agroindustrial wastewaters under mesophilic conditions in a two-stage process. *Desalination*. 2009; 248. [https://www.researchgate.net/profile/Margarita\\_Dareioti/publication/239163589\\_Biogas\\_production\\_from\\_anaerobic\\_co-digestion\\_of\\_agroindustrial\\_wastewaters\\_under\\_mesophilic\\_conditions\\_in\\_a\\_two-stage\\_process/links/55082fef0cf2d7a28127611d.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Margarita_Dareioti/publication/239163589_Biogas_production_from_anaerobic_co-digestion_of_agroindustrial_wastewaters_under_mesophilic_conditions_in_a_two-stage_process/links/55082fef0cf2d7a28127611d.pdf)
- Dioha I.J., Ikeme C.H., Nafi'u T., Soba N.I. and Yusuf MBS. Effect of carbon to nitrogen ratio on biogas production. *International Research Journal of Natural Sciences*. 2013; 1(3). <http://www.eajournals.org/wp-content/uploads/effect-of-carbon-to-nitrogen-ratio-on-biogas-production.pdf>
- Domínguez P.L. Producción porcina a pequeña escala y reciclaje de nutrientes. *Ganadería Agroecológica*. 2003; IIPF. [http://www.actaf.co.cu/index.php?option=com\\_mtree&task=att\\_download&link\\_id=620&cf\\_id=24](http://www.actaf.co.cu/index.php?option=com_mtree&task=att_download&link_id=620&cf_id=24)
- Espinosa M.A. Generalidades sobre los sistemas de tratamiento de residuales pecuarios. En: *IV Seminario Internacional Porcicultura Tropical*. 2010 Mayo; *Memorias*. <http://www.iip.co.cu/Eventos/PT2010/documentos.pdf>
- Esposito G., Frunzo L., Giordano A., Liotta F., Panico A. and Pirozzi F. Anaerobic digestion of organic wastes. *Rev Environmental Science Biotechnology*. 2012. [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42141418/Anaerobic\\_co-digestion\\_of\\_organic\\_wastes20160205-30232-1eh2k3h.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1467155757&Signature=I3vuEJ6ErUQMEjbt604AdKQ5bs%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAnaerobic\\_co-digestion\\_of\\_organic\\_wastes.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42141418/Anaerobic_co-digestion_of_organic_wastes20160205-30232-1eh2k3h.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1467155757&Signature=I3vuEJ6ErUQMEjbt604AdKQ5bs%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAnaerobic_co-digestion_of_organic_wastes.pdf)

- Esteban M. Co-digestión anaerobia de lodo de EDAR con residuos orgánicos de diferente naturaleza: combinación de técnicas experimentales y herramientas matemáticas. Memoria para optar por el Grado de Doctor. 2014 marzo 25; Universidad de Navarra. <http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/35814/1/Myriam%20Esteban.pdf>
- Farina R. Cellamare C.M., Sante L. and Giordano A. Pilot scale anaerobic sequencing batch reactor for distillery wastewater treatment. Agency for New Technologies, Energy and Environment. 2004. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.623.6249&rep=rep1&type=pdf>
- Fekadu M. Biogas production from Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) co-digestion with cow dung. MSc Thesis. 2014 August. Haramaya University. <http://213.55.85.90/bitstream/handle/123456789/1163/thesis%20of%20Melkamu%20%20Fekadu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García K. Codigestión anaeróbica de estiércol y lodos de depuradora para la producción de biogás. Trabajo de fin de Máster. 2010. Universidad de Cádiz. <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/7413/VERSION%20FINAL.pdf?sequence=1>
- Garzón-Zúñiga M.A. y Buelna G. Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. *Revista Internacional de contaminación Ambiental.* 2014; 30(1). [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992014000100006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000100006)
- Gunnarsson C.C. and Mattsson C. Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review. *Waste Management.* 2007; 27. [http://ac.els-cdn.com/S0956053X06000109/1-s2.0-S0956053X06000109-main.pdf?\\_tid=0314acc-e-181d-11e6-8b04-00000aab0f6c&acdnat=1463042536\\_a1b43d34f45c411e25ce66061387992a](http://ac.els-cdn.com/S0956053X06000109/1-s2.0-S0956053X06000109-main.pdf?_tid=0314acc-e-181d-11e6-8b04-00000aab0f6c&acdnat=1463042536_a1b43d34f45c411e25ce66061387992a)
- Guzmán J.M. y Guzmán E. Estudio de la factibilidad de las mezclas de residuos orgánicos para la producción de biogás. Universidad de Cienfuegos. 2015. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/Ecosolar48/HTML/Articulo03N.html>
- Hassan A.S., Udonne J.D. and Afolabi A.S. Process study of biogas produced from cow dung and water hyacinth in a single phase digester reactor. *Recent Advances in Energy, Environment and Development.* 2014. <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2014/Geneva/EE/EE-11.pdf>
- Juantorena A., Alfaro O.G. y Sánchez I. Alternativas para el tratamiento del residual porcino. Parte I. *Tecnología Química.* 2000; 20(2). [https://www.researchgate.net/publication/268395675\\_alternativas\\_para\\_el\\_tratamiento\\_del\\_residu\\_al\\_porcino\\_parte\\_i](https://www.researchgate.net/publication/268395675_alternativas_para_el_tratamiento_del_residu_al_porcino_parte_i)
- Leitao R.C., Van Haandel A.C., Zeeman G. and Lettinga G. The effects of operational and environmental variations on anaerobic wastewater treatment systems: A review. *Biosource Technology.* 2006 Julio; 97. [https://www.researchgate.net/profile/Grietje\\_Zeeman/publication/7226593\\_The\\_effects\\_of\\_operational\\_and\\_environmental\\_variations\\_on\\_anaerobic\\_wastewater\\_treatment\\_systems\\_A\\_review/links/0deec52163f8265a36000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Grietje_Zeeman/publication/7226593_The_effects_of_operational_and_environmental_variations_on_anaerobic_wastewater_treatment_systems_A_review/links/0deec52163f8265a36000000.pdf)
- Leslie Grady CP, Daigger GT, Love NG and Fillipe CDM. *Biological Wastewater Treatment.* CRC Press/IWA Publishing, 3<sup>rd</sup> Ed, 2011.
- Lettinga G. My anaerobic sustainability story. The Netherlands: LeAF, 2014.
- Lettinga G., Rebac S. and Zeeman G. Challenge of psychrophilic anaerobic treatment. *Trends in Biotechnology.* 2001; 19(9). [https://www.researchgate.net/profile/Gatze\\_Lettinga/publication/223494555\\_Lettinga\\_G\\_Rebac\\_S\\_Zeeman\\_G..\\_Challenge\\_of\\_psychrophilic\\_anaerobic\\_wastewater\\_treatment.\\_Trends\\_Biotechnol\\_19\\_363-370/links/00b4952deea60c4174000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gatze_Lettinga/publication/223494555_Lettinga_G_Rebac_S_Zeeman_G.._Challenge_of_psychrophilic_anaerobic_wastewater_treatment._Trends_Biotechnol_19_363-370/links/00b4952deea60c4174000000.pdf)
- Li W.Y., Peng Z.P., Yu J.H., Huang J.C., Xu P.Z. and Yang S.H. Wastewater pollution characteristics from typical intensive pig farms in the Pearl River Delta and its ecological risk assessment. *Huan Jing KeXue.* 2013; 34(10). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24364317>
- Lobato A. Estudio de la co-digestión anaerobia de residuos ganaderos con otros substratos agroindustriales. Tesis para optar por el Grado de Doctor. 2012. Universidad de León. [https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/2241/tesis\\_08feb2.PDF?sequence=1](https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/2241/tesis_08feb2.PDF?sequence=1)
- López A., De la Barrera J. y Vallejo R. Acoplamiento de un sistema anaerobio/aerobio para el tratamiento del agua residual del rastro. *Revista Latinoamericana de Recursos naturales.* 2008 4(2). <http://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v4-n2-31-acoplamiento-de-un-sistema-anaerobio-aerobio-para-el-tratamiento-de-agua-residual-de-rastro.pdf>
- López D.N. Aprovechamiento del lechuguín (*Eichhornia crassipes*) para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores. Tesis. 2012 Marzo; Universidad Politécnica Salesiana - Cuenca. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1938/12/UPS-CT002337.pdf>
- Lorenzo Y. y Obaya M.C. Digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA.* 2005; 24(1). <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- Martínez A. Optimización de la producción de metano a partir de la co-digestión anaerobia de residuos orgánicos. Tesis de Maestría. 2013 Noviembre. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6143/Tesis.pdf?sequence=1>
- Milan Z., Montalvo S., Ilangovan K., Monroy O., Chamy R., Weitland P. et al. The impact of ammonia concentration and zeolite addition on the specific methanogenic activity (SMA) of



- granular and flocculent anaerobic sludges. *Journal of Environmental Sciences and Health. Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering.* 2010; 45(7). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20419585>
- Moleta R. Development of new anaerobic treatment technology in France Chapter 2. In: Fang HHP. *Environmental anaerobic technology – Applications and new developments.* Fang HHP Editor, Imperial College Press, Hong Kong, 2010.
- Moraes B.S., Zaiat M. and Bonomi A. Anaerobic digestion of vinasse from sugar ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2015; 44. [http://ac.els-cdn.com/S1364032115000337/1-s2.0-S1364032115000337-main.pdf?\\_tid=42684eb0-2e4a-11e6-8cd0-0000aacb361&acdnat=1465480895\\_e46164c52d642a3e0c8ca5512fa3f6a8](http://ac.els-cdn.com/S1364032115000337/1-s2.0-S1364032115000337-main.pdf?_tid=42684eb0-2e4a-11e6-8cd0-0000aacb361&acdnat=1465480895_e46164c52d642a3e0c8ca5512fa3f6a8)
- Moreno-Andrade I., Moreno G. and Buitrón G. Initial substrate to microorganisms ratio on the methane production and biodegradability test. En: *Memorias del XI Taller y Simposio Latinoamericano de Digestión Anaerobia, La Habana, 2014.*
- Mutumbo D.T. Internal circulation reactor: Publishing the limits of anaerobic industrial effluent treatment technologies. *Proceedings of the 2004 Water Institute of Southern Africa Biennial Conference.* 2004 May. Document transformation technologies. [http://www.ewisa.co.za/\\_literature/files/276.pdf](http://www.ewisa.co.za/_literature/files/276.pdf)
- Nallathambi V. Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review. *Biomass and Bioenergy.* 1997; 13(1/2). [http://ac.els-cdn.com/S0961953497000202/1-s2.0-S0961953497000202-main.pdf?\\_tid=57c7549a-1761-11e6-b2ca-00000aab0f6c&acdnat=1462961933\\_4880d43e14090e0bcde223941e435cbe](http://ac.els-cdn.com/S0961953497000202/1-s2.0-S0961953497000202-main.pdf?_tid=57c7549a-1761-11e6-b2ca-00000aab0f6c&acdnat=1462961933_4880d43e14090e0bcde223941e435cbe)
- Oke O.F. and Thelma A. Anaerobic co-digestion of water hyacinth and cow dung for biogas production. Section 6. *Technical Sciences.* 2015. <https://www.google.es/search?sourceid=chrome-psyapi2&ion=1&espv=2&ie=UTF-8&q=Anaerobic%20Co-digestion%20of%20water%20hyacinth%20and%20cow%20dung%20for%20biogas%20production&oq=Anaerobic%20Co-digestion%20of%20water%20hyacinth%20and%20cow%20dung%20for%20biogas%20production&aqs=chrome..69i57j69i60l3.4357j0j8>
- Pachaiyappan S., Elamvazhuthi P., Dhamodharan M. and Sundaram S. Biogas production from water hyacinth blended with cow dung. *Indian Journal of Energy.* 2014 August. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:iDXqlGKsD1wJ:ije.informaticspublishing.com/index.php/ije/article/download/52378/42104+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=es>
- Patil J.H., AntonyRaj M.A.L., Muralidhara, P.L., Desai S.M. and Mahadeva G.K. Kinetics of anaerobic digestion of water hyacinth using poultry litter as inoculum. *International Journal of Environmental Science and Development.* [Internet]. 2012 April; 3(2). [http://www.ijesd.org/papers/\\_195-CD0010.pdf](http://www.ijesd.org/papers/_195-CD0010.pdf)
- Patil J.H., AntonyRaj M.A.L., Shankar B.B., Kumar M. and Pradeep B.P. Anaerobic co-digestion of water hyacinth and sheep waste. *Energy Procedia.* 2014; 52. [http://ac.els-cdn.com/S1876610214009746/1-s2.0-S1876610214009746-main.pdf?\\_tid=e80b18b8-175f-11e6-9688-00000aacb361&acdnat=1462961316\\_d8cc127f7536d9c0514ede463d23917b](http://ac.els-cdn.com/S1876610214009746/1-s2.0-S1876610214009746-main.pdf?_tid=e80b18b8-175f-11e6-9688-00000aacb361&acdnat=1462961316_d8cc127f7536d9c0514ede463d23917b)
- Penn State College of Agricultural Sciences. A short history of anaerobic digestion. 2016; *Renewable and Alternative Energy.* <http://extension.psu.edu/natural-resources/energy/waste-to-energy/resources/biogas/links/history-of-anaerobic-digestion/a-short-history-of-anaerobic-digestion>
- Porras R.A. Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción + Limpia.* 2015; 10(2). <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v10n2/v10n2a14.pdf>
- Quiroga G. Codigestión anaerobia de residuos ganaderos con residuos urbanos e industriales. Tesis doctoral. 2014 Noviembre. Universidad de Oviedo. [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/30495/1/TD\\_GerardoQuiroga.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/30495/1/TD_GerardoQuiroga.pdf)
- Ramírez T. Ejecutan proyecto para el control del jacinto de agua en Las Tunas. 2015 Septiembre 9; Las Tunas. [http://ac.els-cdn.com/S0160412006001309/1-s2.0-S0160412006001309-main.pdf?\\_tid=f7c78ea0-181b-11e6-b4fc-00000aab0f02&acdnat=1463042088\\_2853b5b8c55d0f971b05c4fe8f0b5141](http://ac.els-cdn.com/S0160412006001309/1-s2.0-S0160412006001309-main.pdf?_tid=f7c78ea0-181b-11e6-b4fc-00000aab0f02&acdnat=1463042088_2853b5b8c55d0f971b05c4fe8f0b5141)
- Riffat R. *Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering.* London: CRC Press/IWA Publishing, 2013.
- Rodríguez C. Los peligros de la eutrofización de los cuerpos de agua por el vertimiento de las aguas residuales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental.* 2003; 24(2). <http://www.ingenieroambiental.com/4014/peligros.pdf>
- Santiago J.F., Novoa M.C. y Cervantes A. Tratamiento de residuales porcinos y domésticos mediante el cultivo de Lemnácea. *Centro de Hidrología y Calidad del Agua.* 1996. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01279e08.pdf>
- Seghezze L., Zeeman G., Van Lier J.B., Hamelers H.V.M. and Lettinga G. A review: The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. *Bioresource Technology.* 1998; 65. [http://ac.els-cdn.com/S0960852498000467/1-s2.0-S0960852498000467-main.pdf?\\_tid=227ec76a-2e44-11e6-b3df-00000aacb35f&acdnat=1465478265\\_2c39637ccc6e6bf2c00ebeb43b178ec1](http://ac.els-cdn.com/S0960852498000467/1-s2.0-S0960852498000467-main.pdf?_tid=227ec76a-2e44-11e6-b3df-00000aacb35f&acdnat=1465478265_2c39637ccc6e6bf2c00ebeb43b178ec1)
- Singh M. and Srivastava R.K. Asia sequencing batch reactor technology for biological wastewater tre-

- atment: A review. *Journal of Chemical Engineering*. 2011 January; 6(1). [www.researchgate.net/publication/229934905\\_Sequencing\\_Batch\\_Reactor\\_Technology\\_for\\_Biological\\_Wastewater\\_Treatment\\_A\\_Review](http://www.researchgate.net/publication/229934905_Sequencing_Batch_Reactor_Technology_for_Biological_Wastewater_Treatment_A_Review)
- Skouteris G., Hermosilla D., López P., Negro C. and Blanco A. Anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment: A review. *Chemical Engineering Journal*. 2012; 198-199. [http://ac.els-cdn.com/S1385894712006420/1-s2.0-S1385894712006420-main.pdf?\\_tid=a48130b4-28a3-11e6-9118-00000aab0f27&acdnat=1464859578\\_f3d1afb0fc52fe3949fb023fdead9f3b](http://ac.els-cdn.com/S1385894712006420/1-s2.0-S1385894712006420-main.pdf?_tid=a48130b4-28a3-11e6-9118-00000aab0f27&acdnat=1464859578_f3d1afb0fc52fe3949fb023fdead9f3b)
- Sosa R., Chao R. y del Río J. Aspectos bioquímicos y tecnológicos del tratamiento de residuales agrícolas con producción de biogás. *Revista computarizada de Producción Porcina*. 1999; 6(2). <http://www.iip.co.cu/RCP/ant/RCP6.2.pdf>
- Sosa R., Sánchez E., Chao R., Pérez A. y Sáez Y. Estudio de diferentes dimensiones de biodigestores tubulares en el tratamiento de residuales porcinos. *Memorias del II Seminario Internacional Porcicultura Tropical*. 2006 Septiembre. [http://www.iip.co.cu/Eventos/PT2006/Memorias\\_OK.pdf](http://www.iip.co.cu/Eventos/PT2006/Memorias_OK.pdf)
- Soto S. Especies exóticas invasoras de la península Ibérica. *invasIBER*. 2007 Julio 4. Ministerio de Ciencia y Tecnología. [http://invasiber.org/fitxa\\_detalls.php?taxonomic=3&id\\_fitxa=107](http://invasiber.org/fitxa_detalls.php?taxonomic=3&id_fitxa=107)
- Tapia P., Vela R., Miglio R., Juscamaita J., Álvarez C. y Fernández-Polanco F. Determinación de la biodegradabilidad del agua residual de la crianza intensiva de cerdos. En: *Memorias del XI Taller y Simposio Latinoamericano de Digestión Anaerobia*, La Habana, 2014.
- Tchobanoglous G., Burton F.L., and Stensel H.D. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. Metcalf and Eddy, Inc., McGraw-Hill, 4<sup>th</sup> ed., 2004.
- Van Haandel A., Kato M.T., Cavalcanti P.F.F. and Florencio L. Anaerobic reactor design concepts for the treatment of domestic water. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2006; 5. <http://www.environmental-expert.com/Files%5C6063%5Carticles%5C8669%5C4-12-16.pdf>
- Viñas M., Álvarez R. y García R. Tecnología para el tratamiento y aprovechamiento de residuales porcinos. Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios. <http://www.ingenieroambiental.com/new3informes/trataaguaporcinos.pdf>
- Vivanco E., Puñal A., Pizarro C. y Chamy R. Tratamiento de aguas residuales de baja carga mediante reactores anaeróbicos granulares: Estudio de estabilidad. En: *XV Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS-Chile*. 2003. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile15/tratamiento.pdf>
- Wang X., Lu X., Li F. and Yang G. Effects of temperature and carbon-nitrogen (C/N) ratio on the performance of anaerobic co-digestion of dairy manure, chicken manure and rice straw: focusing ammonia inhibition. *PLoS One*. 2014 May 9; 9(5). <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0097265>
- Zaiat M., Rodrigues J.A.D., Ratusznei S.M., de Camargo E.F.M. and Borzani W. Anaerobic sequencing batch reactors for wastewater treatment: a developing technology. *Applied Microbiology Biotechnology*. 2001; 55. [http://download.springer.com/static/pdf/963/art%253A10.1007%252Fs002530000475.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs002530000475&token2=exp=1465900496~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F963%2Fart%25253A10.1007%25252Fs002530000475.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Farticle%252F10.1007%252Fs002530000475\\*-hmac=0ed3666189581833581c2345cc9dd2bec7ccf149c645d5f8564799ec7edcb3e](http://download.springer.com/static/pdf/963/art%253A10.1007%252Fs002530000475.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs002530000475&token2=exp=1465900496~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F963%2Fart%25253A10.1007%25252Fs002530000475.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Farticle%252F10.1007%252Fs002530000475*-hmac=0ed3666189581833581c2345cc9dd2bec7ccf149c645d5f8564799ec7edcb3e)
- Zhang A., Shen J. and Ni Y. Anaerobic digestion for use in the pulp and paper industry and other sectors: an introductory mini-review. *Bioresources*. 2015; 10(4). [https://ncsu.edu/bioresources/BioRes\\_10/BioRes\\_10\\_4\\_Review\\_Zhang\\_SN\\_Fund\\_Anaerob\\_Digest\\_Org\\_Feedstocks\\_Biogas\\_Prod.pdf](https://ncsu.edu/bioresources/BioRes_10/BioRes_10_4_Review_Zhang_SN_Fund_Anaerob_Digest_Org_Feedstocks_Biogas_Prod.pdf)