

## Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales del procesamiento de cárnicos

### Evaluation of the anaerobic biodegradability of the wastewaters from meat procedure

Lic. Yoanis Álvarez-Padrón<sup>I</sup>, Lic. Ramón Vega-Guerra<sup>I</sup>, Dra. C. Rosa M.

Pérez-Silva<sup>II</sup>, Dra. C. Rosa C. Bermúdez-Savón<sup>II</sup>, Dra. C. Suyén

Rodríguez-Pérez<sup>II</sup>, [suyen@cebi.uo.edu.cu](mailto:suyen@cebi.uo.edu.cu)

<sup>I</sup>Combinado Cárnico, "Álvaro Barba Machado", Las Tunas, Cuba; <sup>II</sup>Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

*En el presente trabajo se evalúan las potencialidades de tres inóculos para el biotratamiento de las aguas residuales procedentes del Combinado Cárnico (COMCAR) "Álvaro Barba Machado": el lodo de la laguna de estabilización (L); estiércol vacuno, que se emplea como patrón (E) y una mezcla de ellos 1:1 (v:v) (EL). Se las determinó la actividad metanogénica, en medio de cultivo Visser modificado, adicionando glucosa o acetato como sustratos; y se realizó el ensayo de biodegradabilidad en presencia del residual. Los resultados muestran una mayor producción de metano en presencia de acetato, lo cual sugiere una prevalencia de poblaciones anaerobias metanogénicas, necesarias para desarrollar un tratamiento anaerobio. Además existen otros grupos trópicos (bacterias acidogénicas y acetogénicas) para obtener metano por L, pues la actividad con glucosa es superior al acetato (0,024 vs 0,015 gDQO<sub>CH<sub>4</sub></sub>/g SSV \*d, respectivamente), evidenciando la presencia de otros. La biodegradabilidad del residual es similar al comportamiento de los inóculos, lo que indica la no presencia de compuestos inhibitorios. El inóculo L resultó el mejor adaptado al efluente, con un rendimiento de metano ( $Y_{CH_4/DQO}$ ) de 270,8 mL/gDQO y los mejores resultados en la degradación de materia orgánica (como DQO, 77 %), proteínas (78 %), ácidos grasos volátiles (AGV, 80 %). Este lodo constituye una fuente para la inoculación en el arranque de reactores anaerobios avanzados, para el tratamiento de este tipo de residual.*

**Palabras clave:** residuales, digestión anaerobia, inóculo, biodegradabilidad.

*The operation of a bioreactor requires an appropriate inoculum. So in this work were evaluate three inocula for the biotreatment of wastewater from the meat processing industry (COMCAR) "Álvaro Barba Machado": the sludge stabilization pond (L), cow manure, which is a pattern (E) and a mixture thereof 1:1 (v: v) (EL). This methanogenic activity was determined in Visser modified culture medium, adding glucose or acetate as substrates, and then the biodegradability assay was performed in the presence of residual. The results show the increased production of methane in the presence of acetate, suggesting a prevalence of methanogenic anaerobic populations; necessary to develop an anaerobic treatment. The test with glucose and acetate showed differences in the activities of L inoculum (0,024 vs 0,015 gDQO<sub>CH<sub>4</sub></sub>/g VSS \* d, respectively), demonstrating the presence of other trophic groups (acidogenic and acetogenic bacteria) to obtain methane. The inocula behavior in the biodegradability assay is similar, indicating the not presence of inhibitory compounds. The inoculum L was the best adapted to the characteristics of the effluent, with a yield of methane ( $Y_{CH_4/DQO}$ ) of 270,8 mL/gDQO, and also presented the best results in the degradation of organic matter (as COD, 77 %), protein (78 %), volatile fatty acids (VFA, 80 %). This sludge is an inoculation source for the anaerobic reactors for treating this type of wastewater.*

**Key words:** waste, anaerobic digestion, inoculum, biodegradability.

## Introducción

La contaminación ambiental ocasionada por la actividad industrial, es uno de los problemas ambientales que más inciden en el deterioro del entorno natural. A la industria alimentaria se le atribuye un gran impacto en la contaminación de

ecosistemas acuáticos. Esto se debe a que durante el proceso de producción se generan considerables volúmenes de aguas residuales, las cuales en su mayoría, se vierten a cuerpos receptores sin previo tratamiento, con elevadas cargas contaminantes asociadas a la liberación de grasas y sangre principalmente. El vertimiento de estas

---

aguas residuales, afecta la calidad de las aguas freáticas acarreando diferentes enfermedades, así como, el deterioro de la calidad de los suelos.

De manera particular, la industria pecuaria asociada a rastros de ganado porcino y vacuno, genera la producción de residuos calificados como de biodegradación lenta; es necesario tratarlos con métodos apropiados, para disminuir su potencial contaminante /1/. Las aguas residuales de matadero tienen un contenido en materia orgánica comprendido entre 1,5 y 2,2 gDQO/L, además de compuestos nitrogenados en concentraciones desde 120 hasta 180 mgN/L, predominando en su composición las grasas y las proteínas /2/. Estos valores promedios se encuentran por encima de los límites permisibles para el vertimiento en sistemas de alcantarillados o acuatorios como lagunas y ríos, según la NC 27:1999 /3/.

El Combinado Cárnico "Álvaro Barba Machado" (COMCAR) del municipio Colombia, de la provincia Las Tunas, vierte diariamente 200 m<sup>3</sup> de aguas residuales derivada de su actividad productiva. Estos residuales son tratados previamente en un sedimentador, que permite separar los sólidos de los líquidos. A continuación, todos son vertidos en una laguna de estabilización sin un tratamiento adecuado. Cabe destacar que la laguna de estabilización se encuentra situada en las cercanías de una comunidad, requiriendo por tanto, la implementación de un sistema de tratamiento que permita disminuir la carga contaminante de los mismos, siendo la digestión anaerobia una alternativa atractiva.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar variantes de inóculo, asequibles al entorno del combinado cárnico (COMCAR) Álvaro Barba Machado y seleccionar uno de ellos para la degradación de dichas aguas residuales, utilizando un sistema anaerobio metanogénico

## Fundamentación teórica

La digestión anaerobia es un proceso que se desarrolla en ausencia de oxígeno, mediado por una población microbiana mixta; donde las bacterias metanogénicas constituyen el último eslabón trófico y para fines prácticos, el más

importante. Estos organismos anaerobios poseen la capacidad de degradar compuestos orgánicos complejos hasta otros más simples, como metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Su aplicación ha demostrado ser un modelo de costo efectivo para el tratamiento de residuos complejos como el que se menciona. Sin embargo, para lograr un adecuado proceso de biodegradación de la materia orgánica, ha de ser necesario contar con una fuente de inóculo, donde todos los grupos tróficos de microorganismos estén en adecuada proporción y que persistan en condiciones operacionales, en un ambiente anaerobio. Por lo general, los inóculos utilizados en tratamientos biológicos anaerobios provienen de fuentes naturales como el rumen de los animales, lodos anaerobios de lagunas o el sedimento de ríos y del mar; además de los obtenidos de digestores anaerobios en funcionamiento /4, 5/.

## Métodos utilizados y condiciones experimentales

### Localización de los lodos y residuos utilizados

*Agua residual:* Se obtiene del sedimentador del pre-tratamiento de los efluentes del combinado cárnico (COMCAR) "Álvaro Barba Machado", lugar donde confluye toda el agua derivada del proceso industrial de las diferentes áreas de producción. *Lodo:* colectado en la laguna de estabilización de este combinado. *Estiércol vacuno:* proviene del estercolero situado en el interior de la fábrica.

### Métodos de análisis

Todos los ensayos analíticos fueron realizados en el laboratorio de química analítica del centro de estudios de biotecnología industrial (CEBI) de la facultad de ciencias naturales, Universidad de Oriente. En todos los casos se siguió la metodología recomendada por el *Standard Methods* /6/. Para la caracterización de los inóculos a estudiar, se les determinó los sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (SV), y sólidos totales fijos (SF), velocidad de sedimentación (V<sub>sed</sub>) e índice volumétrico de Lodos (IVL), todas siguiendo la metodología recomendada por el *Standard Methods* /6/. En la

caracterización y seguimiento de la biodegradabilidad de estas aguas residuales, se determinaron parámetros como: ácidos grasos volátiles (AGV), DQO total y pH /6/. Se determinó también proteínas solubles según Bradford /7/.

### Actividad metanogénica

Los ensayos de actividad metanogénica se realizaron en reactor de 250 mL en lote,

utilizando como medio de cultivo el Visser /8/, en presencia de glucosa y acetato como fuentes de carbono, y un 10 % de inóculo con respecto al volumen total. La producción de gas fue medida cada dos horas mediante gasómetros con solución de NaOH al 10 % acoplado a los reactores, permitiendo mediante un colector medir de forma indirecta el volumen de gas metano, por el volumen desplazado de la solución alcalina (figura 1).

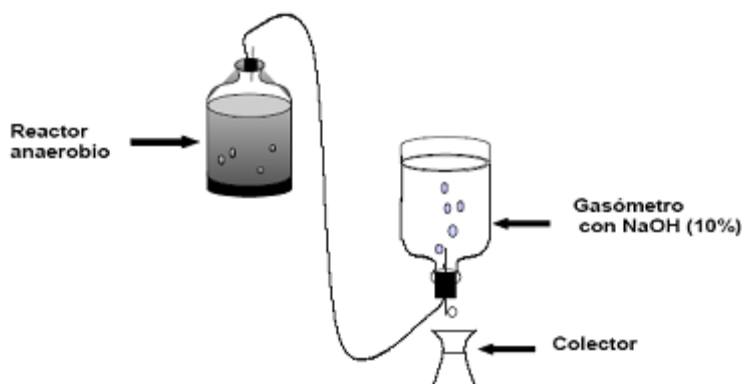


Fig. 1 Sistema experimental para la determinación de la actividad metanogénica.

### Ensayo de biodegradabilidad

Para esto se utilizaron reactores discontinuos de 500 mL, inoculados al 10 % del volumen total del reactor. La producción diaria de gas fue medida de igual forma que lo descrito en el epígrafe anterior (figura 1). Se estudiaron tres variantes de inóculos y los ensayos se realizaron por triplicado:

- 1- Residual Líquido + Lodos al 10 % del volumen total (R + L)
- 2- Residual Líquido + Estiércol vacuno (R + E) al 10 % del volumen total
- 3- Residual Líquido + Mezcla de Lodos y Estiércol vacuno en proporción 1:1 v:v, al 10 % del volumen total (R + L + E)

Para normalizar los valores de metano obtenidos a 1 atm de presión y 25 °C, se tiene en cuenta la presión atmosférica de trabajo (1,013 atm y 28 °C de temperatura), determinándose según la ecuación:

$$P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2 \quad (1)$$

donde:

- $P_1$ : presión de trabajo.
- $P_2$ : 1 atm.
- $V_1$ : volumen de gas acumulado en el tiempo.
- $V_2$ : Volumen normalizado.
- $T_1$ : temperatura de trabajo.
- $T_2$ : 298 °K (25 °C)

### Resultados y discusión

#### Análisis de la generación de residuales líquidos y sus características

La red de residuales líquidos del COMCAR esta formada por una red de atarjeas abiertas con trampas de sólidos en las salidas de sus conductoras. De forma general, la red hidráulica esta constituida por tubos de hierro negro y sus grifos de agua en su mayoría tienen salideros. El consumo de agua estimado por proyecto para el sacrificio de reses es de 120 m<sup>3</sup> y en el cerdo, de 60 m<sup>3</sup>; con índices respectivos de 1,2 y 0,25 m<sup>3</sup>/cabezas. Los residuales

generados no se desagregan en corrientes individuales, según el tipo de residuo que porta o área de trabajo; por lo que incrementa la contaminación aportada y dificulta el tratamiento diferenciado de estos residuales. Los volúmenes de residuales líquidos generados son estimados en 200 m<sup>3</sup> diarios. Este se caracteriza por poseer un color rojizo, debido a que presenta elevada cantidad de sangre y grasas, son vertidos en un sedimentador de 70 m<sup>3</sup> de capacidad y luego bombeado a una laguna de estabilización.

En su caracterización se detecta un alto contenido de materia orgánica, reflejado en sus elevados valores de la DQO, que puede variar en dependencia de la actividad productiva (1100 – 1642,8 mg/L). Además, el residual presenta un pH de 6,3 a 6,9 unidades, concentración de Ácidos Grasos Volátiles (AGV) de 2,08 a 2,16 g/L y contiene proteínas en un rango de 0,16 a 0,34 g/L. De manera general, se presenta un efluente industrial con altas cargas contaminantes de materia orgánica y material biodegradable, que sobrepasa los límites permisibles de la norma cubana para su descarga /3/; por lo que ha de ser tratado antes de su disposición final, reduciendo el impacto negativo asociado a su contaminación.

Para el tratamiento de residuales con estas características, se sugiere el empleo de

tratamientos anaerobios, buscando reducir la acumulación final de lodos, generados por el crecimiento de la biomasa; lo cual resulta mínimo en condiciones de anaerobiosis. Dentro de los procesos anaerobios, específicamente la Digestión Anaerobia (DA), permite la obtención de un gas combustible que puede ser aprovechado con fines prácticos: el biogás /4/. Esta DA ha sido utilizada ampliamente para estabilizar lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y en una menor proporción, pero con una tendencia de aumento significativo, para el tratamiento de aguas residuales industriales provenientes de destilerías, cervecerías, papeleras, alimentos, etcétera /8/. Para su implementación como sistema ingenieril, el funcionamiento de los reactores anaerobios requieren de una fuente de inóculo apropiada que permita el arranque en poco tiempo y un eficiente proceso de degradación.

Para el tratamiento de los residuos líquidos provenientes del proceso productivo del COMCAR se evaluó como inóculo, el lodo colectado en la laguna de estabilización de la propia industria. Este lodo en su conjunto se caracteriza por ser floculento, con una velocidad de sedimentación de 47 m/h y un índice volumétrico de 24,4 mL/gST, características no comparables con un lodo granular, pero mejores en comparación con un lodo aerobio (tabla 1).

Tabla 1  
Parámetros de evaluación de la calidad de inóculos para tratamientos anaerobios

Parámetros	Lodo primario	Lodo granular*
Actividad metanogénica (gDQO <sub>CH4</sub> /gSSV.día)	0,2	0,3 - 2,0
Sólidos totales (cama de lodos), ST (g/l)	182	50 - 250
Sólidos volátiles (porcentaje de los totales), (%)	51,2	30 - 85
Velocidad de sedimentación, (m/h)	6,2	40 - 100
Índice volumétrico de lodo, IVL (ml/gSST)	49,4	< 20
Color	Gris-marrón	Café-negro
Forma	Disperso	Esférico-ovalado

\*Referencia Hussolf y col., 2004

El lodo granular o «gránulo» resulta de la autoinmovilización del inóculo para adaptarse a la alta velocidad ascensional del influente, durante la operación en continuo de reactores anaerobios principalmente del tipo UASB (por sus siglas en inglés) /9/. El porcentaje de sólidos volátiles con relación a los sólidos totales, es de 18-19 % (tabla 2), muy por debajo de lo

recomendado como inóculo para *gránulo* (tabla 1), lo que requiere incrementar la presencia de estos sólidos, como indicador indirecto de biomasa. Como se muestra, en el lodo hay presencia de material no orgánico, pueden ser arena u otros materiales inertes, que pueden favorecer la autoinmovilización como estrategia de enriquecimiento de esa biomasa anaerobia.

Tabla 2  
Caracterización de los inóculos propuestos

Inóculo	*ST (g)	*SV (g)	% SV/ST	IVL (mL/gST)	Vel. Sed (m/h)
Lodo de la laguna	5,63 ± 0,27 <sup>b</sup>	1,05 ± 0,19 <sup>b</sup>	18,6	24,4	47
Estiércol vacuno (Control)	6,35 ± 0,10 <sup>a</sup>	4,69 ± 0,49 <sup>a</sup>	73,8		

\*Referidos para 25 mL de inóculo

De manera comparativa, en diversos trabajos de selección de inóculos se utiliza como control, el estiércol vacuno, ya que presenta riqueza en microorganismos metanogénicos y ha sido utilizado en otros tratamientos, obteniendo porcentajes de remoción de carga orgánica superiores al 65 %. Su caracterización en este trabajo, mostró valores similares a los descritos por Fernández /10/.

En el estiércol existe mayor presencia de material orgánico, indicio de un crecimiento abundante de biomasa, a diferencia del lodo de laguna (tabla 2). Esto puede deberse al arrastre que experimentan estos organismos, en la zona de descarga de la laguna de estabilización que constituyó el área de la toma de muestra. Dicha situación recomienda, que exista una etapa previa de enriquecimiento de la biomasa, en caso de ser utilizado el lodo como inóculo, lo cual se ha de efectuar en condiciones de lento flujo o en lote.

### Ensayo de actividad metanogénica

En el tratamiento biológico anaerobio, la actividad metanogénica se utiliza para determinar la capacidad de asimilación que tienen las bacterias metanogénicas para producir biogás, permitiendo clasificar el potencial de la biomasa para convertir el sustrato en

metano y gas carbónico bajo diferentes condiciones ambientales /11/.

La actividad metanogénica puede ser usada como análisis de rutina para cuantificar la actividad de la población metanogénica, además de ofrecer otras aplicaciones como son: evaluar comportamiento de la biomasa bajo el efecto de compuestos potencialmente inhibidores, determinar la toxicidad relativa de compuestos químicos presentes en efluentes, establecer el grado de degradabilidad de diversos sustratos, monitorear los cambios de actividad del lodo debido a una posible acumulación de materiales inertes, determinar la carga orgánica máxima, que puede ser aplicada para un determinado tipo de lodo, y evaluar parámetros cinéticos /12,13/.

Para determinar el volumen de metano producido durante el ensayo se procede de la manera que fue explicada anteriormente, utilizando el modelo de digestor anaerobio recomendado para este tipo de experimento (figura 1). La utilización de diferentes sustratos (glucosa, acetato) permite estimar la presencia de los diferentes grupos poblacionales acidogénicas/acetogénicas y metanogénicas /13/.

En la variante de medio de cultivo suplementado con glucosa, se puede observar que el estiércol vacuno presenta un mayor aprovechamiento de

este sustrato comparado con el lodo, por lo que la producción inicial del gas es mayor. Al cabo de las 26 horas de ensayo las producciones se igualan, y

a partir de este momento el volumen de gas producido por el lodo es mayor, que en el caso del estiércol vacuno (figura 2).

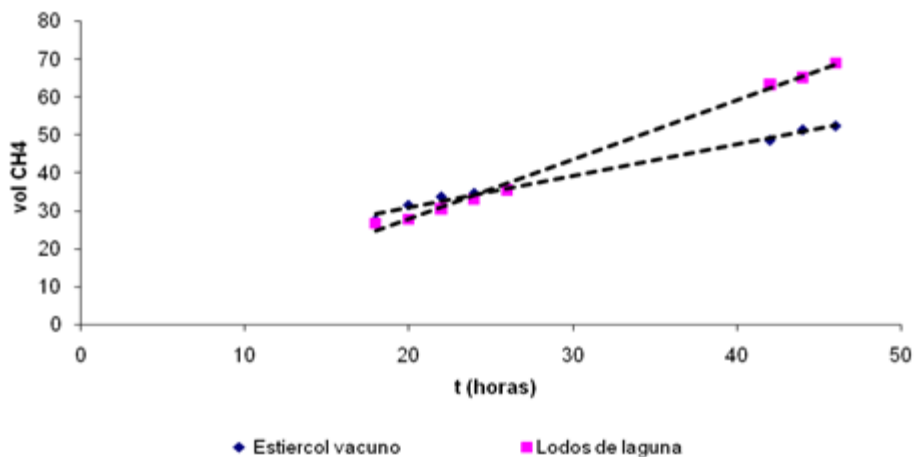


Fig. 2 Producción de metano de los dos inóculos evaluados en presencia de glucosa.

Para corroborar lo antes expuesto se realiza el ensayo con medio de cultivo suplementado con acetato como sustrato, como se puede observar en la figura 3, donde el lodo alcanza una mayor producción durante todo el proceso. El ensayo con glucosa y acetato, mostró diferencias en actividades

del inóculo L (0,024 vs 0,015 gDQO<sub>CH4</sub>/g SSV \*d, respectivamente); evidenciando la presencia de otros grupos tróficos (bacterias acidogénicas y acetogénicas), para obtener metano. Sin embargo, en el estiércol, son similares las actividades en ambos casos (0,013 gDQO<sub>CH4</sub>/g SSV \*d).

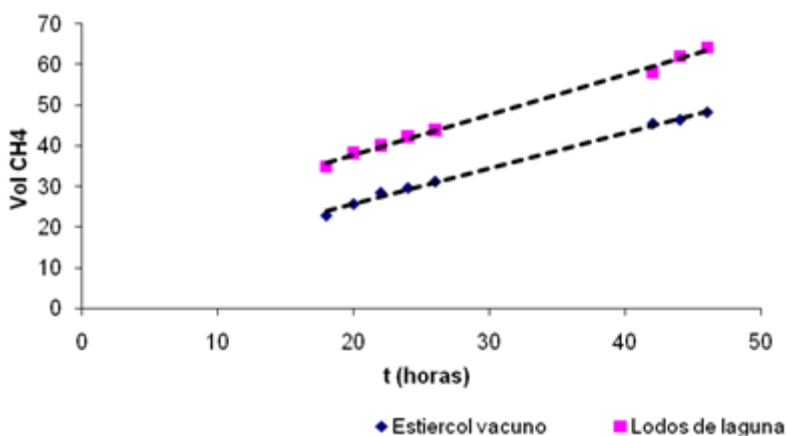


Fig. 3 Producción de metano de los dos inóculos evaluados en presencia de acetato.

La actividad metanogénica para estos inóculo en los ensayos, en todos las variantes experimentales, se encuentran por debajo de 0,1 gDQO<sub>CH4</sub>/g SSV \*d; siendo reportados estos

valores como característicos de lodos floculentos o pocos sedimentables (tabla 3), estando presentes en reactores anaerobios de primera generación /14, 15/.

Tabla 3

Valores descritos de AME para lodos anaerobios de varias fuentes.  
(tomado de Montalvo y Guerrero, 2003)

Fuente o tipo de inóculo	AME (g DQOCH <sub>4</sub> /g STV *d)	Concentración (g SSV * d)
Lodo granular	0,500-1,500	70-120
Lodo de otros reactores	0,500-1,200	reactor potab
Lodo doméstico digerido	0,020-0,200	15-40
Estiércol digerido	0,020-0,080	20-80
Tanque séptico	0,010-0,070	0-50
Lagunas anaerobias	0,03	30
Estiércol fresco	0,001-0,020	30-140
Salmamento diario	0,002-0,005	20-50

Además, hay que tener en cuenta que aunque el lodo ha estado expuesto a estos residuales, por la descarga a la laguna, no ha existido una adaptación dirigida para degradar los componentes más recalcitrantes de los mismos, por ejemplo las grasas. Sin embargo, por su comportamiento, se muestra que estos lodos tienen buenas potencialidades para ser usados como inóculos para el arranque de reactores, considerando siempre una etapa de arranque o aclimatación a condiciones operacionales del propio biorreactor /16/.

### Ensayo de biodegradabilidad anaerobia

Este ensayo es de gran importancia, pues de acuerdo a los resultados que se obtienen se puede indicar si es apropiado el tratamiento anaerobio. Se puede seleccionar de forma más acertada, el inóculo adecuado para el tratamiento anaerobio en continuo, utilizando reactores de segunda generación /17/.

Una vez concluido el ensayo de actividad metanogénica en el que se determinó el potencial para producir metano a partir de la materia orgánica degradada de los lodos y el estiércol vacuno, demostrándose las ventajas del lodo obtenido en la laguna de estabilización de la industria, se procedió a realización del ensayo de biodegradabilidad en presencia del residual.

Analizando el comportamiento de las tres variantes utilizadas como inóculos en el ensayo (R+L, R+E, R+E+L), se obtuvieron los siguientes resultados al cabo de los veinte días de experimentación (tabla 4, figura 4). En las cinéticas de producción de metano se observa una mayor producción en los tratamientos que fueron inoculados con el lodo, los que son semejantes a los obtenidos en el tratamiento con la mezcla de lodos y estiércol vacuno; siendo aproximadamente el doble, si se compara con los resultados obtenidos en los tratamientos con estiércol. Esto coincide con lo esperado de los resultados de la actividad metanogénica (tabla 4).

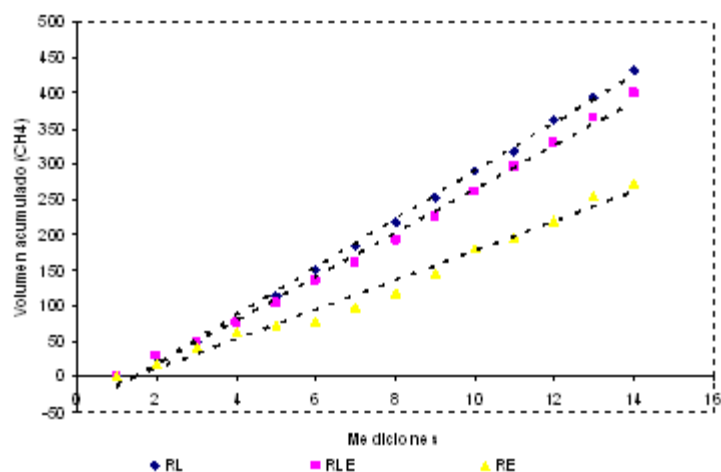
Tabla 4  
Ensayo de biodegradabilidad anaerobia de diferentes inóculos, frente al agua residual del procesamiento cárnico (COMCAR)

Variante	Vol. acumulado CH <sub>4</sub> (mL)	% remoción DQO	% remoción AGV	% remoción proteína	AM frente al residual (gDQO <sub>CH<sub>4</sub></sub> /gSV*día)
RLL	439,5 <sup>a</sup>	77,45 <sup>a</sup>	80 <sup>a</sup>	78,0 <sup>a</sup>	0,026 <sup>a</sup>
RLE	409,3 <sup>a</sup>	66,96 <sup>b</sup>	70 <sup>b</sup>	75,6 <sup>a</sup>	0,023 <sup>a</sup>
RLE	244,6 <sup>b</sup>	24,00 <sup>c</sup>	60 <sup>c</sup>	76,6 <sup>a</sup>	0,016 <sup>b</sup>

COMCAR: Combinado Cárnico Álvaro Barba Machado, Las Tunas.

Letras diferentes en una misma columna, indican diferencias significativas para una probabilidad de un 95 %.

RL residual líquido + lodo RLE residual líquido + lodo + estiércol RE residual líquido + estiércol.



**Fig. 4 Producción de metano de los diferentes inóculos durante el ensayo de biodegradabilidad: RL-residual y lodo de laguna, RLE-residual y mezcla lodo/estiércol, RE-residual y estiércol.**

Como se puede observar en la tabla 4, con el lodo los porcentajes de remoción de AGV y las proteínas es superior a cuando se utiliza otro inóculo, aunque para este último parámetro no difiere significativamente entre los tratamientos; alcanzando valores promedios del 70–80 %. La remoción de DQO alcanza valores entre 65 y 78 %, para aquellas muestras con presencia de lodo sólo o en su mezcla. Sin embargo, en los ensayos con estiércol se reduce la DQO sólo un 24 %.

Los componentes fundamentales de la DQO del agua de matadero son las proteínas las grasas y los AGV presentes en la misma; así como, pequeñas cantidades de carbohidratos. Las proteínas, provenientes en mayor cuantía del proceso de desangrado, pueden al hidrolizarse alcalinizar e inhibir el proceso de digestión anaerobia [2]. Sin embargo, estas biomoléculas resultan fáciles de degradar por consorcios microbianos anaerobios, como se muestra en los valores de remoción de este parámetro en la tabla 4, donde no existen diferencias respecto a la fuente de inoculación.

No resulta similar para el caso de los AGV, los que han sido descritos como potentes inhibidores, si su producción por las bacterias acidogénicas superan el consumo por las metanogénicas acetoclásticas. Un equilibrio poblacional ha de existir en las fuentes de biomasa empleada, pues la acumulación de estos ácidos grasos de cadena

corta, pueden llevar a la acidificación del reactor y como consecuencia, a la inhibición de la DA/18/. Esto confirma lo planteado anteriormente de que el lodo de laguna "L" presenta una participación más balanceada de los diferentes grupos tróficos que intervienen en la DA, mientras el estiércol "E" es más rico en bacterias metanogénicas.

Analizando la incidencia al proceso anaerobio que puedan tener estos compuestos derivados preferentemente de la degradación de las grasas, se ha demostrado que un inóculo puede adaptarse y biodegradar este tipo de compuestos si se sigue una estrategia adecuada de aclimatación del mismo [18]. Este lodo ha estado expuesto por temporadas largas a este residual, por la disposición final del mismo en la laguna de estabilización; de ahí su mejor comportamiento para degradar AGV.

Debido a estas características, es importante señalar que los inóculos para el tratamiento de residuales líquidos deben provenir preferentemente de lugares donde estén expuestos a los residuales a tratar; criterio muy importante, en caso de no contar con lodos granulares, como resulta por lo general en nuestro país, Esto garantizaría un menor tiempo de adaptación en el reactor y por tanto, mejores resultados en cuanto a la degradación de la carga orgánica presente en el residual.

La escasa biodegradabilidad de las aguas del cárnico, en presencia de estiércol como inóculo,



puede ser el resultado de la poca adaptabilidad que presenta la flora microbiana del mismo, ante este tipo de residual con elevadas cantidades de grasas y proteínas, tanto en su porción soluble como en la insoluble; lo que concuerda con lo expuesto por Field /2/. Esto coincide con otros trabajos realizados, razón por la que el estiércol vacuno no se recomienda como posible inóculo /10, 18/.

Como se ha dicho, este tipo de agua residual tiende parcialmente a alcalinizarse en condiciones anaerobias, lo que está dado por la presencia de compuestos nitrogenados como iones  $\text{NH}_4^+$  aportados por la hidrólisis de las proteínas. Los ensayos con el residual se desarrollaron con un incremento del pH (7,8 inicio – 8,2 final) para los inoculados con E; a diferencia de los inoculados con L que se mantuvieron en el margen de pH apropiados para la metanogénesis (6,8 – 7,5) /17/.

Los ensayos de biodegradabilidad muestran similar comportamiento de las actividades metanogénicas del inóculo L ( $0,023 \pm 0,002$  gDQO<sub>CH<sub>4</sub></sub>/g SSV \*d), en el medio con residual comparado con los medios sintéticos, lo que indica la no presencia de inhibición para la población microbiana y una mayor robustez para soportar altas cargas de compuestos presentes en el residual a tratar (ejemplo: grasas y proteínas). El lodo de la laguna de estabilización (L) resultó el mejor adaptado a las características de los efluentes, con un rendimiento de metano ( $Y_{\text{CH}_4/\text{DQO}}$ ) de 270,8 mL/gDQO.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que el lodo de la laguna de estabilización del COMCAR, presentan las mejores potencialidades para la implementación del tratamiento anaerobio de este tipo de residual; corroborado por su mayor actividad metanogénica (comparado con el estiércol) y una buena biodegradabilidad.

## Bibliografía

1. BERTSCH A.; N. A. COELLO. Biotechnological Process for Treatment and Recycling Poultry Feathers as a Feed Ingredient. *Bioresource Technology*, 96 (15): 1703-1708. 2005.
2. FIELD, J. "Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodo (UASB)". Seminario Latinoamericano. Santiago de Cali. Noviembre: 43. 1987.
3. NC 27: "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y alcantarillados. Especificaciones". Oficina Nacional de Normalización. La Habana. Cuba: 14. 1999.
4. BERMÚDEZ, R.; E. DÍAZ; M. C. MARTÍNEZ *et al.* *La Energía de los desechos: Manual de la Tecnología del Biogás*. Monografía por la Excelencia. Universidad de Oriente: 74. 2001.
5. TERRY A. I., FERNÁNDEZ, M., BERMÚDEZ, R., RODRÍGUEZ S. "Selección de un inóculo para la biodegradación anaerobia de la pulpa de café". *Revista. Tecnología Química*, Vol. 24 No 2: 64-71. 2004.
6. American Public Health Association (APHA). *Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters*. 21st Ed. APHA. WCPF, AWWA. Washington DC. USA: 1368. 2005.
7. BRAFORD, M. "A Rapid and Sensitive Method for the Quotation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein Dye Binding". *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254. 1976.
8. MONTALVO, S.; L. GUERRERO. *Tratamiento anaerobio de residuos. Producción de Biogás*. Ed. Universidad Técnica Federico Santa María: 5-366. 2003.
9. HULSHOFF, L. W.; S. DE CASTRO; P. LETTINGA. *Anaerobic Sludge Granulation*. *Water Research*, 38: 1376-389. 2004.
10. FERNÁNDEZ, M. "Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia de los residuales líquidos de la industria cafetalera". *Tesis en opción al título académico de Master en Biotecnología*. Universidad de Oriente. 2005.
11. PENNA, J. "Estudo da metodologia do teste de atividade metanogênica específica. Tese de doutorado". Escola de Engenharia, USP-São Carlos, Brasil. 1997.
12. CHERNICHARO, C. *Principios do tratamento biológico de águas residuárias*. Universidad Federal de Minas Gerais. Vol V. Brasil: 5-25. 2007.
13. TORRES, P.; A. PÉREZ. "Actividad Metanogénica Específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento

- 
- anaerobio de aguas residuales". *Rev. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, No. 9 enero-diciembre: 5-14. 2010.
14. MONROY O. "Control del arranque de operación de digestores anaerobios". *II Simposio Internacional sobre Ingeniería de Bioprocesos, Curso Pre – Congreso*, Mazatlán, México: 14. 1997.
15. MÉNDEZ, D. "Toxicidad y biodegradación anaerobia de formaldehído. Tesis de Doctorado". Universidad de Santiago de Compostela. España. 1997.
16. TERRY, A.; M. FERNÁNDEZ; D. ALMEIDA. "Consideraciones generales para el desarrollo de una estrategia de granulación en reactores UASB". *Revista Tecnología Química*. Vol. 28 No. 1: 70-79. 2008.
17. SPEECE, R. "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters". Published Archae Press, Tennessee. USA: 45. 1996.
18. RODRÍGUEZ, J.; G. J. SOSA; Y. GARZA. "Bioconversión anaerobia como una alternativa para la remoción de DQO contenido en aguas residuales del rastro municipal de la Ciudad de Saltillo, Coahuila, México". *J. Mex. Chem. Soc.*, 2: 185-188. 2002.
19. LÓPEZ, A.; J. de la BARRERA; R. VALLEJO. "Coupling of an Anaerobic/aerobic System for the Wastewater Treatment of Slaughterhouse". *Rev. Latinoam. Rec. Nat.* Vol. I: 14-20. 2007.