

PROCESO DISCONTINUO DE DIGESTION ANAEROBIA PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES PORCINOS

Marcos A. Astorga*, Daiana Fix Torres, Nicolás Panijan Haenseler, Andrea B. Pojmaevich, Glenda Henoch, Alberto Camacho.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional del Neuquén. Padre Rotter SN, Plaza Huincul (8318), Neuquén, Argentina.

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida
marcos.ad.as@gmail.com*

RESUMEN

Con el objetivo de estudiar un proceso de digestión anaerobia, y de verificar resultados obtenidos en una simulación empleando el programa informático Biodigestor Pro (BP) presentados en otra publicación, se llevó a cabo un proceso discontinuo de digestión anaerobia de purín de cerdo en un biorreactor de 5,5 L de capacidad. La digestión anaerobia se efectuó a una temperatura de 35 °C y con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 30 días.

El seguimiento del proceso se llevó a cabo empleando determinaciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 (DBO_5), Nitrógeno Total (NT), Nitrógeno Amoniacal ($N-NH_3$), Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles (SV), Alcalinidad y Volumen de Biogás producido. Con el fin de verificar resultados arrojados por la simulación antes mencionada, se calculó la eficiencia de remoción de SV. Se observó una diferencia entre los resultados experimentales y aquellos valores simulados.

Se concluye que es posible llevar a cabo el proceso en las condiciones antes comentadas. Se sospecha que la diferencia entre los valores obtenidos experimentalmente y aquellos obtenidos en la simulación en cuestión, se debió a

la presencia de inhibiciones ocurridas durante el proceso anaerobio.

Palabras Claves: Digestión anaerobia, Tratamiento de efluentes, Simulación, Biorreactor, Biogás

ABSTRACT

The goal of this work was the study of anaerobic digestion, and the verification of results published in another article from a simulation using the software Biodigestor Pro. To that end, an anaerobic pig manure batch process was run in a 5,5L capacity bioreactor, in which the temperature was 35 °C and the hydraulic retention time was 30 days.

In order to monitor the process, a serie of determinations was carry out: Biochemical Oxygen Demand 5 (BOD_5), Total Nitrogen (TN), Amoniacal Nitrogen (AN), Total Solids (TS), Volatile Solids (VS), Alcalinity, and Biogas Volume measure. The empirical value of removal efficiency of VS was used as reference for the evaluation of the simulation results from the work mentioned before. A difference between the empirical value and the simulated one was observed.

It is concluded that it is possible to carry out the process in the mentioned conditions. It is suspected that the difference between values obtained experimentally and those obtained in the simulation in question, was due to the presence

of inhibitions that occurred during the anaerobic process.

Key-words: Anaerobic Digestion, Wastewater Treatment, Simulation, Bioreactor, Biogas

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la problemática que presenta el uso de sistemas de lagunajes (United States Environmental Protection Agency, 2002) para el tratamiento de efluentes de la industria ganadera, la implementación de biorreactores para llevar adelante procesos de digestión anaerobios ha demostrado ser una alternativa aceptable desde el punto de vista ambiental y económico (Abbas *et al.*, 2013) (Lansing *et al.*, 2010). Por tal motivo, en la UTN - Facultad Regional del Neuquén, y en el marco del PID homologado "Uso de biodigestores en el tratamiento de efluentes en cría de porcinos", en el presente trabajo se llevó a cabo un estudio del proceso de digestión anaerobia de purines de cerdo.

Además, con el objetivo de continuar con el estudio llevado a cabo por Pojmaevich *et al.* (2017), se compararon valores obtenidos de la eficiencia de remoción de sólidos volátiles en el presente estudio, con aquellos valores correspondientes que se obtuvieron en la simulación del estudio antes mencionado.

DESARROLLO

Muestra de Purín de Cerdo

Se trabajó con un volumen de 4 L de purín de cerdo proveniente de una granja de Mariano Moreno, Neuquén. Luego de haber recogido la muestra se determinó un pH de $6,75 \pm 0,04$ y se almacenó en heladera a una temperatura de 4 °C durante una semana antes de comenzar con el proceso discontinuo de digestión anaerobia, según recomendaciones de Peters *et al.* (2003).

Biorreactor y Monitoreo

El proceso anaerobio se llevó a cabo en un biorreactor de 5,5 L de capacidad y un volumen útil de 4 L. El mismo posee sensores de pH, pO_2 (oxígeno disuelto) y temperatura, y tiene la capacidad de regular la velocidad de agitación entre otras opciones. Para el proceso de digestión anaerobia, se empleó una temperatura mesófila de $35 \pm 1,5$ °C durante un TRH de 30 días, y una velocidad de agitación constante de 120 rpm.

Se decidió trabajar en un rango de temperaturas mesófilas, dado que es un rango de temperaturas adecuado para la producción de biogás haciendo, en estas condiciones, que el proceso resulte viable económicamente (Wang *et al.*, 2014). Por otro lado, también se tuvo en cuenta la velocidad de agitación mecánica durante el proceso. Una agitación mecánica moderada favorece no sólo una distribución homogénea de nutrientes para los microorganismos, sino que también impide la formación de una capa en la interfase líquido-gas que evita la libre difusión del biogás. Además, la velocidad de agitación no debe ser excesivamente violenta, ya que podría dañar a los microorganismos (Li *et al.*, 2015). En cuanto al pH, la mayoría de los ensayos anaerobios se efectúan en un rango de pH de 6,50 a 7,50, condiciones en las cuales los microorganismos metanogénicos

presentan óptima actividad, además de evitar diferentes tipos de inhibiciones que pueden presentarse en procesos anaerobios (Cheng *et al.*, 2008).

El proceso se monitoreó efectuando diferentes determinaciones, las cuales son comunes en la mayoría de los ensayos de digestión anaerobia (Labatut & Gooch, 2012). Conociendo valores de estas determinaciones, uno puede prever una disminución del rendimiento de biogás o incluso inhibición de la biodigestión, y en consecuencia actuar con las respuestas adecuadas en cada caso (Cheng *et al.*, 2008).

Medición de Volumen de Biogás

El sistema de recolección de biogás constó de una probeta invertida, la cual contenía una solución 1 N de NaOH, sobre un vaso de precipitado. La lectura se efectuó directamente sobre la probeta. El agregado de NaOH permite una mayor solubilidad del CO₂ generado, por lo cual la lectura del biogás producido se considera mayormente debida a la presencia de CH₄ (Torres-Lozada *et al.* 2016).

Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 (DBO₅)

Esta determinación se llevó a cabo con el equipo DBO Logic de Ingelab. El procedimiento se basó en las indicaciones del fabricante del equipo. Primero se neutralizaron 5 ml de una muestra de purín de cerdo. Esta neutralización se llevó a cabo con el agregado de ácido sulfúrico 1N, para el caso de una muestra con pH mayor a 7, o hidróxido de sodio 1N para el caso de una muestra con pH menor a 7. Luego se colocó la muestra neutralizada en un frasco de vidrio propio del equipo. Posteriormente se procedió al agregado de 100 µl de las siguientes soluciones de nutrientes: FeCl₃·6H₂O; CaCl₂; MgSO₄·7H₂O; KH₂PO₄; K₂HPO₄; Na₂HPO₄; NH₄Cl. El volumen final alcanzado con agua destilada fue de 100 ml. En la trampa de CO₂ en la boca de la botella, se agregó NaOH sólido. Finalmente se sellaron herméticamente las botellas, y se programó el equipo para que lleve a cabo la determinación de DBO durante cinco días a 20 °C dentro de una cabina con temperatura regulada. Cabe aclarar que el valor determinado corresponde a DBO₅ sin inhibidor de la nitrificación, y las muestras se tomaron del biorreactor de manera semanal.

Sólidos Totales (ST) y Sólidos Volátiles (SV)

El procedimiento para estas determinaciones tuvo como referencia los métodos empleados por APHA (1992). Brevemente, para la determinación de ST se pesó, en una balanza analítica OHAUS CPA224C, una muestra de 10 ml de purín en una cápsula de porcelana, luego de calentarla en una estufa de secado a 105 °C durante 6 horas se registró nuevamente el peso. Finalmente empleando la siguiente relación se obtuvo el % ST:

$$\% \text{ ST} = (A - B) \times 100 / (C - B)$$

siendo A igual al peso de la cápsula más la muestra seca, B el peso de la cápsula vacía, y C el peso de la muestra sin secar más la cápsula.

Para la determinación de SV se calentó la muestra obtenida en la determinación de ST a 550 °C durante 1 hora en una mufla, y se empleó la siguiente relación para obtener su porcentaje:

$$\% \text{ SV} = (A - D) \times 100 / (A - B)$$

en donde D es igual al peso de la muestra incinerada más la cápsula y las demás letras corresponden a lo que se indicó previamente para el caso de ST.

Nitrógeno Total Kjeldahl y Nitrógeno Amoniacal

Para ambas determinaciones, se siguieron las recomendaciones de Peters et al. (2003). El volumen de muestra empleado fue de 10 ml, y las muestras analizadas fueron tomadas de manera semanal.

Alcalinidad

Esta determinación se llevó a cabo empleando el método de titulación según se indica en APHA (1992), siendo el volumen de la muestra de purín de 20 ml. Se determinó la alcalinidad de las muestras de manera semanal.

RESULTADOS

Producción de Biogás

Luego de medir el volumen de biogás producido diariamente, se calculó el valor del volumen de biogás acumulado. Ambos datos fueron normalizados a condiciones normales de temperatura y presión. Además, se obtuvo la producción de biogás específica, cuyo valor fue $9,02 \times 10^{-3} \text{ Nm}^3/\text{g SV}$ como puede observarse en la Figura 1.

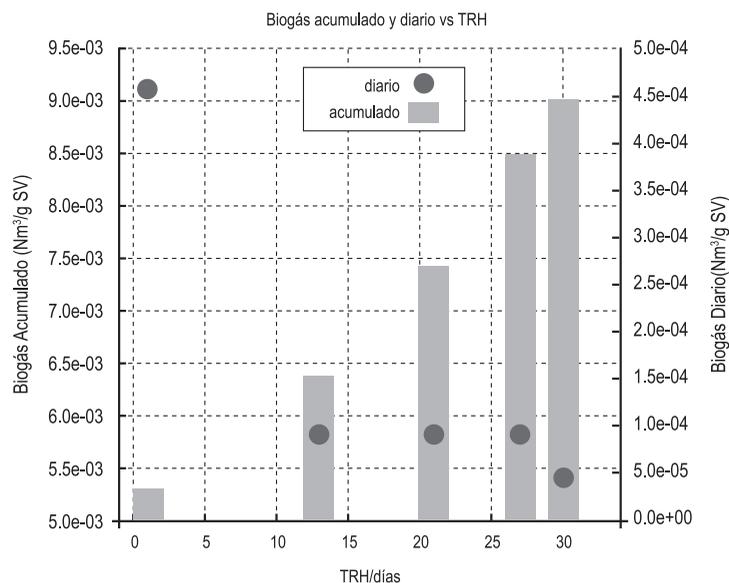


Figura 1: Variación de biogás producido diariamente y acumulado durante el proceso de digestión anaerobia.

Degradación de Materia Orgánica y Eficiencia de Remoción de Sólidos Volátiles

El seguimiento de la DBO_5 nos orientó sobre el grado de biodegradación de la materia orgánica presente en el purín. En la Tabla 1 se observan los tres valores de DBO_5 en función del tiempo del proceso. Si bien al final del ensayo la carga orgánica se mantuvo elevada, se registró una disminución del 25,7%.

Tabla 1: Variación de valores de DBO_5 en función del tiempo del proceso anaerobio

TRH / días	DBO_5 (mgO_2/L)	Desviación Estándar (mgO_2/L)
0	16420	84,9
20	13460	452,5
30	12200	190,8

Por otro lado, y con el fin de determinar la eficiencia de remoción de SV también se determinó la variación de SV en función del tiempo. Estos resultados pueden verse en la Tabla 2.

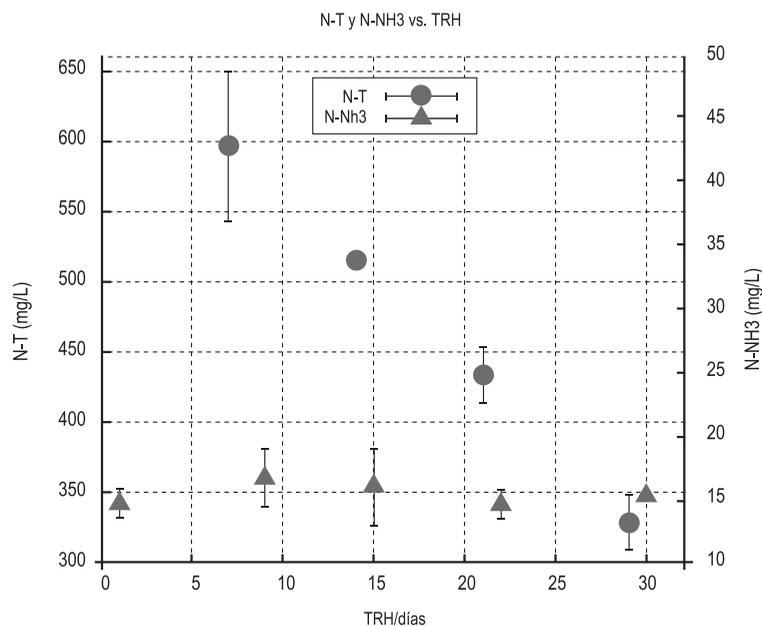
Tabla 2: Variación del porcentaje de SV en función del tiempo del proceso en días.

TRH / días	SV (%)
8	63,9
22	65,2
29	54,7

Con los datos presentados se pudo calcular que la eficiencia de remoción de SV fue de 9,2 %SV, muy por debajo de 62 %SV, valor reportado por la simulación de Pojmaevich et al. (2017).

Comportamiento de Especies Nitrogenadas, pH y Alcalinidad

Con el fin de evitar inhibiciones por elevadas concentraciones de amoníaco, se llevó a cabo el seguimiento de las especies nitrogenadas, tanto totales como amoniacales, en función del tiempo del proceso. Como se puede observar en la Figura 2, la concentración de $N-NH_3$ permaneció prácticamente constante durante todo el ensayo, mientras que para el caso de N-T se observó una disminución del 45%.

**Figura 2:** Variación de las concentraciones de N-T y $N-NH_3$ en función del TRH del proceso anaerobio.

En la Tabla 3 puede observarse el comportamiento de la alcalinidad durante el proceso de digestión anaerobio. Se registra un valor de 6036,6 mg CaCO₃/L al comienzo del proceso, mientras que al finalizar el mismo la concentración de CaCO₃ disminuye a 4100,5 mg CaCO₃ /L. Gracias a estos elevados valores de alcalinidad, no fue necesario adicionar reactivos para mantener un pH estable, el cual se mantuvo en un valor promedio de 6,60 ± 0,06.

Tabla 3: Variación de la alcalinidad en función del TRH en días.

TRH / días	Alcalinidad (mg CaCO ₃ / L)	Desviación Estándar (mg CaCO ₃ / L)
6	6036,6	17,0
13	5928,3	0,0
20	4100,5	34,0

DISCUSIÓN

Durante el transcurso del proceso de digestión anaerobia de purín de cerdo se pudo registrar un incremento de la producción de biogás (primer punto de la Figura 1), seguido de una disminución de la misma durante la mitad del ensayo, valor que prácticamente se mantuvo constante, y finalmente una leve disminución de la producción hacia el final del ensayo. Esto puede verse en la Figura 1, junto con el volumen total o acumulado que se obtuvo. Teniendo en cuenta que se trató de un proceso discontinuo o batch, es previsible que el agotamiento de sustratos y la acumulación de metabolitos lleven a la inhibición del proceso metanogénico. Sin embargo, si se tiene como referencia valores reportados por Godbout et al. (2010), la cantidad de biogás producido por gramo de SV en esta práctica fue elevado.

Como puede observarse en la Tabla 1, inicialmente el purín presentaba una gran cantidad de carga orgánica. Y aún, luego de 30 días de digestión, dicho valor permaneció bastante elevado, lográndose una reducción del 25,7%. En cuanto a la eficiencia de remoción de SV, como se indica en la Tabla 2, se obtiene un valor inferior comparado al valor presentado en la simulación de Pojmaevich et al. (2017). En ambos casos, se presume que pudo ocurrir algo que es común en este tipo de procesos, una inhibición por elevada producción de ácidos grasos volátiles (AGV). Esta suposición está respaldada por los datos obtenidos de la Tabla 3, en donde se observa una disminución en la alcalinidad, junto con el valor de pH del proceso que, si bien se mantuvo constante, estuvo en el rango inferior de los valores normalmente utilizados. De existir la inhibición por AGV, en nuestro caso no fue posible detectarla a tiempo, dado que, al momento del ensayo, no se contó con el equipo ni reactivos para llevar a cabo dicha determinación.

Al analizar los resultados de N-NH₃, se puede determinar que no hubo una producción significativa de este compuesto durante el proceso. Generalmente valores mayores a 1500 mg N-NH₃/L se consideran inhibitorios (Cheng et al., 2008; Liu et al. 2002). Pero claramente no es el caso de este ensayo. Por otro lado, se observa una disminución en la concentración de N-T. Presumiblemente este consumo fue necesario para dar soporte a la actividad metabólica de los microorganismos (Ferrer et al., 2010; Liu et al. 2002). Ambos análisis surgen de observar la Figura 2.

CONCLUSIÓN

Luego de llevar a cabo la digestión anaerobia de purín de cerdo, se llega a la conclusión que la producción de biogás en función de los SV es elevada comparado con otros valores de referencia. Se concluye que no hubo variación significativa de N-NH₃, pero lo contrario ocurre con la variación de N-T, posiblemente debido al consumo de nutrientes nitrogenados por parte de los microorganismos. Además, se logró disminuir la materia orgánica en 25,7%.

También se concluye que los valores de eficiencia de remoción de sólidos volátiles fueron inferiores comparados con aquellos valores obtenidos en la simulación de Pojmaevich *et al.* (2017), presumiblemente debido a una inhibición de ácidos grasos volátiles.

REFERENCIAS

- Abbasi T., Abbasi S.A., Tauseef S.M., Premalatha M., (2013). Methane capture from livestock manure. *Journal of Environmental Management*, 117, 187-207.
- APHA, (1992). *Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. Diaz de Santos, S.A., España.
- Cheng J. J., Chen Y., Creamer K. S., (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99, 4044-4064.
- Ferrer Y., Pérez H., (2010). Los microorganismos en la digestión anaerobia y la producción de biogás. Consideraciones en la elección del inóculo para el mejoramiento de la calidad y el rendimiento, *ICIDCA: Sobre los derivados de la Caña de Azúcar*, 99:1, 9-20.
- Godbout S., Verma M., Larouche J.P., Potvin L., Chapman A.M., Lemay S.P., Pelletier F., Brar S.K., (2010). Methane production potential (B₀) of swine and cattle manures - A Canadian perspective. *Environmental Technology*, 31:12, 1371-1379.
- Labatut R.A., Gooch C.A, (2012). Monitoring of anaerobic digestion process to optimize performance and prevent system failure. Estados Unidos, Cornell University. Disponible en: <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/36531/21.Rodrigo.Labatut.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . (Última fecha de acceso: 26/05/2018).
- Lansing S., Martin J.F., Botero R., Nogueira da Silva T., Dias da Silva E., (2010). Wastewater transformation and fertilizer value when co-digesting differing ratios of swine manure and used cooking grease in low-cost digesters. *Biomass and Energy*, 34, 1711-1720.
- Li H. Z., Wu J., Jiang J., Poncing S., (2015). Effect of hydrodynamic shear on biogas production and granule characteristics in a continuous stirred tank reactor. *Process Biochemistry*, 51, 345-351.
- Liu T., Sung S., (2002). Ammonia inhibition on thermophilic acetoclastic methanogens. *Water Science and Technology*, 45:10, 113-120.
- Peter J., Combs S., Hoskins B., Jarman J., Kovar J., Watson M., Wolf A., Wolf N.,(2003). *Recommended Methods of Manure Analysis*. John Peters, Estados Unidos.

Pojmaevich A.B., Arbin G, Krumrick E., Henoch G., Camacho A., (2017). Simulación: Influencia en la variación de parámetros operativos en el tratamiento de efluentes porcinos. Rumbos Tecnológicos , 9, 43-57.

Torres-Lozada T., Cárdenas-Cléves L.M., Parra-Orobio B.A., Vásquez-Franco C.H., (2016). Perspectivas del ensayo de potencial bioquímico de metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. ION, 29:1, 95-108.

United States Environmental Protection Agency (2002). Wastewater Technology Fact Sheet: Anaerobic Lagoons. Estados Unidos. Disponible en: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/alagoons.pdf> . (Última fecha de acceso: 25/05/2018)

Wang X., Lu X., Li F., Yang G., (2014). 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 on ammonia inhibition. PLoS ONE, 9(5) e:97265.