



EVALUACIÓN DE LODOS DE PURINES DE LA CUENCA PORCINA UNION MARCOS JUAREZ-CORDOBA-ARGENTINA

Galván, María Jose¹; Cagnolo, Mara¹; Degano, Salvador¹; Badin, Francisco¹; Becker, Analia¹; Manno, Roberto¹; Acevedo, Diego²; Hilbert, Jorge³; Mauren, Fuentes⁴.

¹ Centro de Investigaciones y Transferencia (CIT-VM), Universidad Nacional de Villa María, Villa María, Argentina.
mgalvan@unvm.edu.ar

² Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

³ INTA Castelar, Castelar, Buenos Aires, Argentina.

⁴ Instituto de Desarrollo y Diseño (INGAR), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

Resumen

El encarecimiento de importaciones y la demanda interna acrecentó la producción de porcinos en Argentina. Concentrándose en la zona núcleo agrícola del país, coincidiendo con la disponibilidad de granos, centros de faena y consumo. La cuenca bajo posee un elevado potencial bioenergético (5861 tep/año). Este crecimiento, generó un incremento de los efluentes. En la mayor parte de los establecimientos, se realizan mediante lagunas de estabilización. Estos lodos estabilizados, se pueden utilizar como enmienda en suelo o como inóculo para las DA, porque contiene los microorganismos y composición química adecuada. El objetivo de este trabajo fue evaluar los lodos provenientes de lagunas de tratamiento de purines de la región, comprendiendo la caracterización y determinación del potencial de producción de biogás y metano (PPB y PPM), biodegradabilidad y actividad, mediante ensayos por *Bach* triplicados a escala laboratorio y piloto. Además, se determinó la calidad del biogás y la composición del inóculo luego de desgasificarlo. Los resultados muestran una baja concentración de sólidos correspondiente con la modalidad de trabajo y presente macro y micronutrientes necesarios para la DA. Luego del proceso de inanición, PM1 no presentó patógenos, indicando que un correcto proceso de DA reduciría o eliminaría los patógenos en PM0, adicionalmente presenta características salino-sódicas, reduciendo su aplicación directa como enmienda en suelo. El biogás obtenido del proceso de desgasificación mostró baja calidad (baja concentración de CH₄ y elevada de CO₂ e H₂/N₂).

Palabras claves: Biogás, digestión anaeróbica, purines de cerdo, inóculo, enmiendas.

Abstract

The increase in the price of imports and domestic demand increased the production of pigs in Argentina. It is concentrated in the agricultural core zone of the country, coinciding with the availability of grains, slaughter and consumption centers. The lower basin has a high bioenergy potential (5861 tep/year). This growth generated an increase in effluents. In most of the establishments, they are carried out by means of stabilization lagoons. This stabilized sludge can be used as a soil amendment or as inoculum for AD, because it contains the appropriate microorganisms and chemical composition. The objective of this work was to evaluate sludge from slurry treatment lagoons in the region, including the characterization and determination of biogas and methane production potential (PPB and PPM), biodegradability and activity, by means of triplicate *Bach* tests at laboratory and pilot scale. In addition, biogas quality and inoculum composition after degassing were determined. The results show a low concentration of solids corresponding to the working mode and present macro and micronutrients necessary for AD. After the

starvation process, PM1 did not present pathogens, indicating that a correct AD process would reduce or eliminate pathogens in PM0, additionally it presents saline-sodium characteristics, reducing its direct application as a soil amendment. The biogas obtained from the degassing process showed low quality (low concentration of CH₄ and high concentration of CO₂ and H₂/N₂).

Keywords: Biogas, anaerobic digestion, pig slurry, inoculum, amendments.

1. Introducción

La producción de porcinos en Argentina creció, por el encarecimiento del cerdo importado y la demanda del consumo interno (Brunori, 2013). Informes del Ministerio de Agricultura y Ganadería, indican un crecimiento del 230 % entre 2008-2019. Los establecimientos porcinos se concentran en la zona núcleo agrícola del país, donde coinciden la disponibilidad de granos, los centros de faena y consumo. (MAGYP,2019; MINAGRO,2017).

Este incremento ha generado un aumento de efluentes. La gestión de las deyecciones, es prioritaria en aspectos ambientales y energéticos. La misma se está realizando mediante políticas y regulaciones de implementación de energías renovables, minimización de pérdidas de nutrientes, reducción de emisiones de GEIs, y protección de aguas superficiales. Los tratamientos de estos efluentes porcinos (PM), en la mayor parte de los establecimientos, se realizan usando lagunas de estabilización (grandes extensiones).

Se analizaron dos opciones para el uso de PM. La primera consiste en su uso como enmienda en suelo, los PM pueden sustituir, parcial o totalmente, a los fertilizantes minerales, aumentando la fertilidad del suelo aportando nutrientes y mejorando las propiedades físicas del mismo (Tlustos, 2018). El problema asociado a este uso, son las pérdidas de N en forma de amoníaco (NH₃), causando impactos negativos en el medio ambiente. En Argentina, por predominio de los sistemas de siembra, el PM se esparce por difusión en superficie usando un aplicador de placas, siendo las pérdidas por volatilización de NH₃ superior al 50 % (Pegoraro, 2020). La segunda opción de uso sería como fuente de inóculo para la digestión anaerobia (DA), obteniéndose de las lagunas de estabilización y su posterior digestión con sustratos (permitiendo así la incorporación de otros residuos agroindustriales) para generar biogás de calidad y digestato. Los PM usados como inóculo y combinados adecuadamente en mono y codigestión anaeróbica (CoDA), favorecen la producción de biogás, energía, reciclaje de nutrientes y reduce las emisiones de CH₄ y N₂O más que la gestión convencional del estiércol (Treichel, 2019). La elevada dilución del estiércol animal, hace poco viable el funcionamiento de las plantas de biogás usando únicamente estiércol. (Achinás, 2017). El potencial de producción de biogás estimado de la actividad porcina en Argentina, es de 204.883.456 m³/año (112.686 tep/año). La cuenca bajo estudio ocupa una superficie de 5072 km², con 280 establecimientos, el potencial bioenergético alcanza las 5861 tep/año (FAO, 2019).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los lodos provenientes de lagunas de tratamiento de purines de la región, comprendiendo la caracterización y determinación del potencial de producción de biogás y metano (PPB y PPM), remoción de materia orgánica (RMO) y actividad, mediante ensayos por *Bach* triplicados a escala piloto antes y luego del proceso de desgasificación.

2. Metodología

2.1 Área de estudio, muestreo y caracterización

El área de estudio comprendió a productores de la región con una mayor disponibilidad de residuos biomásicos. Se analizó espacialmente la ubicación de los establecimientos con lagunas de tratamiento de purines. En las muestras se determinaron sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y alcalinidad total (AT)

según los métodos estándar 2540 B, 2540 E y 2320 B de la American Public Health and Association (APHA), respectivamente. Los ácidos grasos volátiles (AGV) se midieron con el método de Nordmann. Además, el pH se midió con un medidor pH HANNA HI 8424. La demanda química de oxígeno (DQO), el nitrógeno amoniacal total (TAN) y el nitrógeno amoniacal libre (FAN) se midieron con el espectrofotómetro HANNA HI 83099. La demanda biológica de oxígeno (DBO₅) se analizó con sensores VELD BOD EVO 6, nitrógeno total por método Kjeldahl (TKN) (APHA 4500 B). El carbono orgánico se determinó con la relación entre el contenido de materia orgánica y el carbono orgánico de 1,7241 (Cuetos, 2008). Para los ensayos microbiológicos se utilizaron los siguientes métodos: Coliformes fecales (FDA: BAM.ch.4:2002), *Escherichia coli* (ISO 7251:2005), *Salmonella spp* (ISO 6579-1:2017). Para el perfil de metales se utilizó la metodología SM 3125:2017.

2.2 Pruebas por lotes a escala piloto

La configuración experimental para los ensayos por lotes se realizó de acuerdo con los métodos Deutsches Institut für Normung (DIN) Organización Internacional de Normalización (ISO) 11734, VDI 4630/2016, Angelidaki et al. (2009) y Holliger et al. (2016). Los ensayos se realizaron por triplicado en biodigestores de 5 L con gasómetros con desplazamiento líquido y con sus controles positivos usando como referencia celulosa microcristalina. Los mismos se configuraron a 37 °C ± 1 y 100 rpm. Se midió el rendimiento de biogás, la RMO y los parámetros de inhibición (AGV, AT, TAN y FAN). El volumen de biogás se midió diariamente por desplazamiento volumétrico, estos valores se transformaron a condiciones de temperatura y presión estándar (CNP_yT), teniendo en cuenta las directrices proporcionadas por Walker et al. (2009) y Strömberg et al. (2014). Además, se analizaron los porcentajes de CH₄, CO₂, N₂/H₂ y H₂S, mediante un cromatógrafo de gases (Fuli Instrument) con un detector de conductividad térmica (TCD) y una columna GDX-502 (4m x 3mm).

3. Resultados y discusiones

3.1. Evaluación de los inóculos, caracterización y ensayos a escala

Las muestras se obtuvieron de una instalación porcina centralizada, situada en Bell Ville, Córdoba, Argentina (Lat: S -32°40'12" Long: W 62°51'11"). Posteriormente el inóculo se conservó, desgasificó y caracterizó. La Tabla 1 muestra la caracterización fisicoquímica y microbiológica de purines de lagunas de estabilización antes (PM0) y después del proceso de desgasificación (PM1). Los rangos de relación C/N de PM1 se incrementaron en un 7 %, aproximándose a los valores presentados por Zhou et al. (2016), entre 7,4–12,96. Este incremento de la relación estaría relacionado con la reducción del nitrógeno total. Esta relación C/N baja, dificulta la producción continua de biogás.

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica y microbiológica de purines de lagunas de estabilización antes (PM0) y después del proceso de desgasificación (PM1) o inanición.

Parámetros	PM0	PM1
Sólidos Totales, ST (% p/p)	4,59±0,51	1,55±0,33
Sólidos Volátiles, SV (% p/p)	31,46±1,61	21,14±1,36
Demanda Química de Oxígeno, DQO (g/L)	55,39±0,98	14,74±0,87
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO (g/L)	23,90±0,76	8,65±0,66
pH	7,70±0,24	7,54±0,10
Nitrógeno Amoniacal Total TAN(g/L)	2,01±0,17	1,15±0,10
Nitrógeno Amoniacal libre FAN(g/L)	2,08±0,60	1,07 ±0,15
Nitrógeno Total, N (% p/p)	2,16±0,11	1,35±0,28

IX Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos: hacia un mundo sin residuos

Carbono Total, C (% p/p)	18,29±0,90	12,28±0,82
C/N	8,50±0,78	9,10±0,73
Ácidos Grasos Volátiles (gCH ₃ COOH L ⁻¹)	0,98±0,12	0,30±0,26
Alcalinidad Total (gCaCO ₃ /L ⁻¹)	2,75±0,26	2,09±0,75
RAS	35,11	31,54
PSI	35,82	33,21
Potasio (mg/kg MS)	72±3	80±2,2
Fosforo (mg/kg MS)	134±0,20	175±0,16
Sodio (mg/kg MS)	2322±3	1978±2,1
Arsénico (mg/kg MS)	0,82±0,01	0,90±0,01
Calcio (mg/kg MS)	245±3	224±3
Cinc (mg/kg MS)	5,50±0,10	5,20±0,10
Cobre (mg/kg MS)	1,20±0,10	0,89±0,10
Cromo (mg/kg MS)	1,70±0,02	1,54±0,02
Magnesio (mg/kg MS)	55±3	47,30±3
Mercurio (mg/kg MS)	0,002±0,001	ND
Níquel (mg/kg MS)	0,88±0,01	0,72±0,01
Plomo (mg/kg MS)	0,04±0,01	0,02±0,01
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100ml)	ND	ND
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0,84	ND
<i>Salmonella spp.</i> (UFC/100ml)	ND	ND
RMO (% SV)	77,15±1,70	
Rendimiento de biogás (NmL/g SV)	354,56±5,54	
Rendimiento de metano (NmL/g SV)	165,09±1,42	-

Análisis de muestras por triplicados. N: CNPyT.

Los valores de SV tuvieron una reducción del 33 %, concentraciones inferiores a las informadas por Henjfelt & Angelidaki (2009) y Rodríguez-Abalde et al. (2017), y próximos a los informados por Moukasis et al. (2018). Las diferencias de concentración podrían deberse a los diferentes métodos de manejo de recursos hídricos (Flotats, 2009). PM1 alcanzó una RMO del 77 % en DQO. Estos resultados se compararon con los valores obtenidos por Beily et al. (2016) de inóculos provenientes de tratamientos de PM de la región, presentando ST, DQO, NT, y TAN (2,24- 23,4-1,5-1,4) próximos a las muestras ensayadas. Los valores de AGV (< 1g CH₃COOH/L), AT (> 3g CaCO₃/L), pH (7-8,5) y TAN (nitrógeno amoniacal total) fueron próximos a los sugeridos como referencia por Holliger et al. (2016). La relación AGV/AT alcanzó 0,18 para PM1, el inóculo se encontraría en condiciones para las respectivas CoA (Radis Steinmetz, 2016). El tiempo de desgasificación fue de 30 ± 2 días. Los controles de virus y bacterias peligrosas para la sanidad animal y vegetal, muestran que PM1 no presenta patógenos en los recuentos. Esto indicaría que un correcto proceso de DA reduciría o eliminaría los patógenos. PM1 presentó una adecuada cantidad de macro y micronutrientes, entre ellos metales necesarios para optimizar las reacciones metabólicas de la DA. La relación de adsorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de PM0 y PM1 presentan características salino-sódicas, por lo que su aplicación directa como enmienda en suelo sería inadecuado. El rendimiento de CH₄ teórico (157,84 NmL/g SV), se aproxima al PPM obtenido a mayor escala (165,09 NmL/g sv). El PPB alcanzó los 354,56 NmL/g sv, el 46 % del biogás corresponde a CH₄, con un máximo de producción entre los días 8-15, próximos a los obtenidos por Flotats et al. (2009) (181 NmL/g sv). El bajo contenido de CH₄ hace que el uso únicamente de PM0 sea poco viable técnica y económicamente.

El Grafico 2 muestra la producción diaria (2 a) y acumulada (2 b) de los *Bach* por triplicado. Cada lote siguió su propia dinámica de producción, pero el rendimiento final no presentó diferencias significativas. En cuanto a la composición del biogás obtenido durante el proceso de inanición, podemos observar en la Figura 2 c un pico máximo en el día 8, que corresponde a un 64,08 % de CH_4 . Los días de mayor producción de biogás coincidieron con los de mayor porcentaje de CH_4 , los valores de CO_2 se mantuvieron estables entre el 20-30 %, N_2/H_2 entre un 10-15 %. A partir del día 15 se observa una caída tanto en la producción de biogás como en el porcentaje de CH_4 y un incremento en el contenido H_2/N_2 . La composición promedio de biogás de los lotes presentó valores de CH_4 36 %, CO_2 26 %, H_2/N_2 37 % y H_2S 0,21 %. Cuando mayor sea la proporción de CH_4 y CO_2 , se incrementa el índice de Wobbe (potencia calorífica de mezcla de gases para combustión en motores), el incremento de CO_2 se debe a la acumulación de AGV durante la DA, reduciendo su potencia calorífica y traduciéndose en un medio ácido en motores. Además, la elevada concentración de CO_2 y de H_2/N_2 , incrementan la presión parcial no favoreciendo las reacciones de acetogénesis.

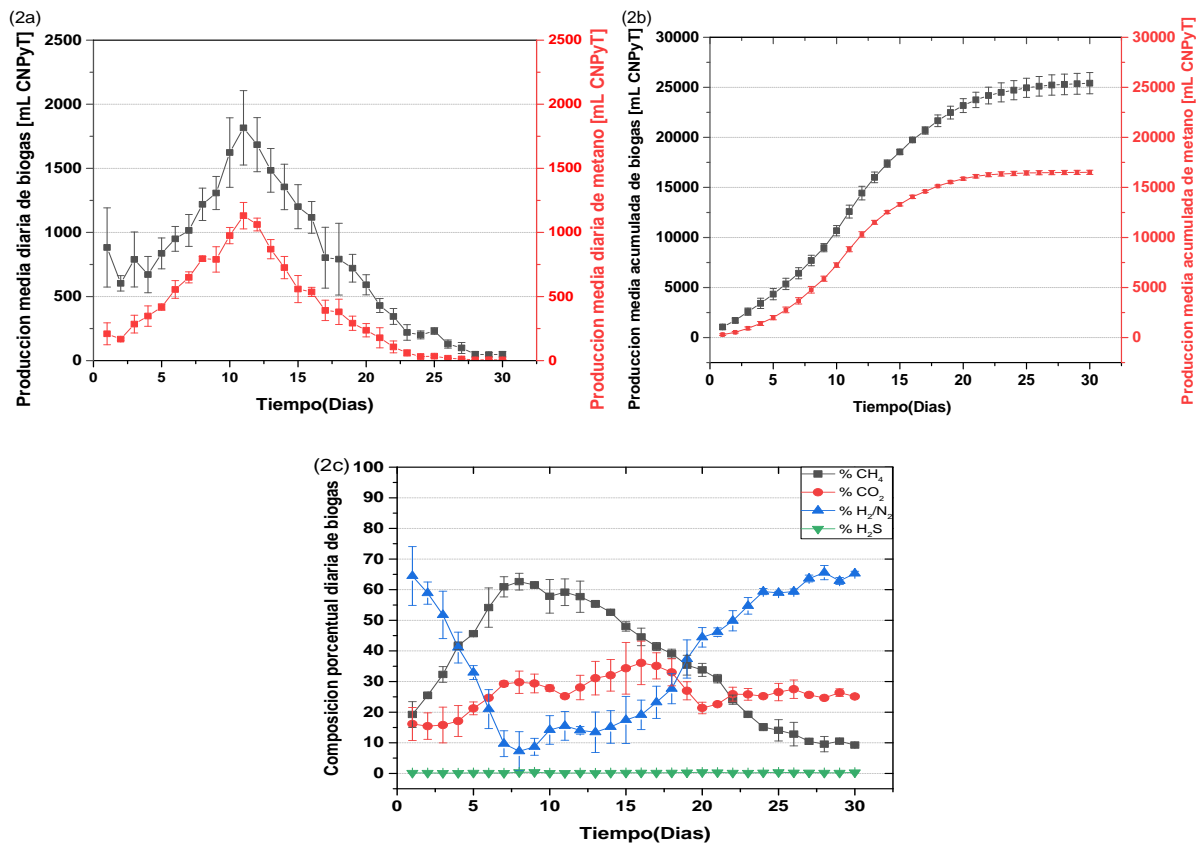


Figura 2. (a) producción media diaria de biogás y metano de lotes 5L por triplicado (b) producción acumulada media de biogás y metano de lotes 5L por triplicado; (c) Composición media porcentual de biogás de lotes de 5L

Coombs et al. (1990) evaluó la composición del biogás considerando su origen, el contenido de CH_4 se encuentra entre un 50-80 %, el CO_2 entre 30-50 %, H_2/N_2 2-5 % y H_2S 0-1 %, indicándonos que se obtuvo del PM0 un biogás pobre en cuanto a su calidad.

4. Conclusiones

El relevamiento y mapeo de la densidad biomásica en la región de estudio, mostro una gran disponibilidad de lodos de purines en lagunas de estabilización. Los resultados indican que PM1 posee las características fisicoquímicas y microbiológicas necesarias para poder realizar las CoA con otros residuos agroindustriales.

Si su uso se plantea como enmienda en suelo, es adecuado en cuanto a contenido de nutrientes, además no presentó patógenos indicando que un correcto proceso de DA reduciría o eliminaría los patógenos en el purín inicial. Pero se debe considerar su elevado RAS y PSI confiriéndole características salino-sódicas.

El PPB y PPM indicaron que se obtiene un biogás de poca calidad en cuanto al contenido de CH₄, haciendo que el uso de PMO únicamente sea poco viable técnica y económicamente.

5. Referencias

- Informe Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina. (2019). Subsecretaría de Ganadería y Producción Animal. Área Porcinos-Dirección de porcinos, aves de granja y no tradicionales.
- MINAGRO. Buenas prácticas de manejo y utilización de efluentes porcinos. (2017) Subsecretaría de Ganadería. Ex Ministerio de Agroindustria de la Nación.
- Brunori, J.C. (2013). Producción de cerdos en Argentina: situación, oportunidades, desafíos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Tlustoš P., Hejcman M., Kunzová E., Hlisnikovský L. (2018). Nutrient status of soil and winter wheat (*Triti-cum aestivum* L.) in response to long-term farmyard manure application under different climatic and soil physicochemical conditions in the Chec Republic. *Arch Agron Soil Sci.* 64:70-83.
- Pegoraro V., Cazorla C., Bachmeier O., Baigorria T., Boccolini M., Ortiz J., Lorenzon C., Hang S., Zubillaga M. (2020). Impacts of different pig slurry application methods on soil quality indicators in a maize-soybean cropping sequence in the sub-humid pampas of Argentina. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture.* 9: 259-272. DOI: 10.30486/IJROWA.2020.674424.
- Treichel H. and Fongaro G. (2019). Improving Biogas Production, Biofuel and Biorefinery Technologies 9, Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10516-7_1
- Achinas S., Achinas V., Euverink G. (2017). A technological overview of biogas production from biowaste. *Engineering* 3: 299-307. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.002>
- VDI 4630. Fermentation of organic materials-Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests, VDI-Handbuch Energietechnik, 2016.
- Angelidaki I., Alves M., Bolzonella D., Bprzacconi L., Campos J., et al. 2009. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays, *Water Sci. and Technol.* 59 (5): 927-934. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.040>
- Holliger C., Alves M., Andrade D., Angelidaki I., Astals S, et al. (2016). Towards a standarization of biomethane poten-tial tests, *Water Sci. and Technol.* 74 (11): 2515-2522.
- Flotats X., Bonmatí A., Fernández B. Magrí, A. (2009). Manure treatment technologies: on-farm versus centralized strategies. NE Spain as case study. *Bioresour. Technol.* 100, 5519-5526.
- Rodriguez-Abalde A., Flotats X., Fernandez B. 2017. Optimization of the anaerobic co-digestion of pasteurized slaughter-house waste, pig slurry and glycerine. *Waste Manage* 61:521-528.
- Beily M. E., Franco R., Panichelli D., Crespo D. 2016. Caracterización de efluente porcino granja experimental EEA Marcos Juarez.
- Radis Steinmetz R., Mezzari M., Busi da Silva M., Kunz A., Cestonaro do Amaral A., Tápparo D., Moreira Soares H. 2016. Enrichment and acclimation of an anaerobic mesophilic microorganism's inoculum for standardization of BMP assays. *Bioresource Technology* 219: 21–28.