



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2023; 14:1-13. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2023.105>
Artículo Original. Recibido: 10/07/2023. Aceptado:05/12/2023. Publicado: 12/12/2023. Clave: e2023-105.
<https://www.youtube.com/watch?v=bxTlhqWLaig>

Calidad de subproductos derivados de un biodigestor alimentado con dos cargas orgánicas de residuos porcícolas

Quality of by-product derived from a biodigester fed with two organic loads of pig waste



Domínguez-Araujo Gerardo^{*1}  ID, De-la-Mora-Orozco Celia^{**1}  ID, González-Acuña Irma²  ID, Galindo-Barboza Alberto¹  ID, Arias-Castellanos José³  ID

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Santiago. México. ³Profesional particular, independiente, Jalisco, México. *Autor Responsable: Domínguez-Araujo Gerardo. **Autor de correspondencia: De la Mora-Orozco Celia, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Interior parque los Colomos s/n Colonia Providencia, CP 44660, 55 3871 8700 ext 84704, Zapopan Jalisco, México. E-mail. dominguez.gerardo@inifap.gob.mx, delamora.celia@inifap.gob.mx, gonzalez.irmajulieta@inifap.gob.mx, galindo.alberto@inifap.gob.mx, jose_08castellanos@hotmail.com

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en el módulo de producción pecuaria del CEAJAL, del área de gestación de cerdos (n=12), se recolectó la excreta sólida fresca manualmente con pala y carretilla, el biodigestor tipo laguna fue alimentado diariamente con dos niveles de carga orgánica (CO), CO15% y CO5% con la finalidad de determinar la calidad de subproductos. El biogás y el lodo se evaluaron en 4 periodos, de 40 días cada uno. Los datos resultantes se analizaron mediante estadística descriptiva y diferencial en el programa R (4.3.1). El metano contenido en el biogás, de CO15% y CO5%, fue de 61.6% y 59.6%, respectivamente, ($p < 0.02$). Los lodos, se sometieron a tratamiento complementario de desecado a temperatura ambiente, determinando macro y micronutrientes, de CO15% y CO5%, donde MO, 53.9% y 57.41%; CT, 31.3% y 33.0%; NT, 3.4% y 3.5%; PT, 4.0% y 3.9%, respectivamente. Resaltando la diferencia estadística de la variable CT, ($p < 0.04$). A pesar de una CO menor, la producción de metano está en el rango normal y los nutrientes de los lodos pueden ser tomados como referencia para fertilización orgánica en la agricultura. Para implementar este tipo de tecnología se debe considerar tratamientos complementarios para cada uno de los subproductos.

Palabras clave: agua residual, biogás, efluente, lodos.

ABSTRACT

The study was carried out in the livestock production module of CEAJAL, in the pig gestation area (n=12), fresh solid excreta were collected manually with a shovel and wheelbarrow, the lagoon-type biodigester was fed every day with two load levels organic (CO), CO15% and CO5% in order to determine the quality of the byproducts. The biogas and sludge were evaluated in 4 periods of 40 days each. The resulting data were analyzed using descriptive and differential statistics in the R program (4.3.1). The methane content in the biogas of CO15% and CO5% was 61.6% and 59.6%, respectively, ($p < 0.02$). The sludge was subjected to a complementary drying treatment at environmental temperature, determining macro and micronutrients, of CO15% and CO5%, where MO, 53.9% and 57.4%; CT, 31.3% and 33.0%; NT, 3.4% and 3.5%; PT, 4.0% and 3.9%, respectively. Highlighting the statistical difference of the CT variable, ($p < 0.04$). Despite a lower amount of CO, methane production is in the normal range and the nutrients in the sludge can be taken as



a reference for organic fertilization in agriculture. To implement this type of technology, complementary treatments must be considered for each of the byproducts.

Keywords: wastewater, biogas, effluent, sludge.

INTRODUCCIÓN

La actividad porcina actual requiere de registros de datos para su pleno desarrollo con el fin zootécnico por lo cual está diseñada, en base a los parámetros productivos alcanzables. Para el manejo integrado de residuos, que coadyuve a mitigar el daño ambiental de la biodiversidad, las granjas deben implementar un sistema integral de producción sostenible, que beneficie al pequeño y mediano productor en ámbitos tecnológicos (Magnusson *et al.*, 2022) y económicos (Durante & De Oliveira, 2022).

Cualquier nivel de tecnificación de una granja, presenta el riesgo de contaminación de las excretas, el cual deriva de que los cerdos no aprovechan el 100 % de los nutrientes consumidos. Además, la cantidad y calidad producida de excretas depende de factores ligados al consumo y tipo de alimento, al animal y al diseño de instalaciones (Galindo *et al.*, 2020). En la estrategia de adopción tecnológica, es importante la clasificación y separación del material a tratar (residuos sólidos y líquidos). Así mismo para que haya un buen desarrollo tecnológico en las granjas porcinas, es decisiva la selección del proceso e implementación de metodología práctica (Barrera-Cardoso *et al.*, 2020).

Las prácticas de manejo de residuos para mitigar los efectos de generación de gases de las excretas en los corrales, son diversas; destacan la limpieza diaria, ventilación, drenaje y periodo de remoción de los desechos (Somagond *et al.*, 2020). Bajo un enfoque de sostenibilidad, la recolección de las excretas es primordial, debido a que un mal o nulo manejo representa una mayor contaminación. En este sentido, para los residuos de condición líquida, una alternativa tecnológica es el uso de biodigestor, catalogado como tecnología de energía renovable, debido a gran capacidad de producción de biogás (Tait *et al.*, 2021) generando energía calorífica y eléctrica (Camarena *et al.*, 2020), además de la obtención de abonos orgánicos por la condición de sus efluentes (Martínez & Francesena, 2018).

En el proceso los parámetros óptimos son: la temperatura interna y externa del biodigestor, material de alimentación, niveles de carga orgánica y determinación de tiempos de retención hidráulica TRH. Los beneficios de la tecnología son varios, con un manejo adecuado y monitoreo del proceso, se derivan subproductos y se genera biogás. No obstante, existen limitaciones para su desarrollo con los productores. Por un lado, diversos factores afectan en la eficiencia total del sistema de generación de biogás. También es cierto que hay poca información sobre las metodologías y procedimientos con respecto a los efluentes líquidos y sólidos, los cuales deben someterse a tratamientos complementarios para su buena integración. Esto se refleja en el productor como algo incosteable y como una remediación a largo plazo (Pérez & Cervantes, 2018).

El objetivo del trabajo fue determinar la calidad de subproductos derivados de un biodigestor, de acuerdo a dos niveles de carga orgánica (CO), los cuales se sometieron a tratamientos complementarios de secado al aire libre, para optimizar el manejo y aprovechamiento de los subproductos en pequeñas y medianas unidades de producción.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del módulo de producción porcina del Campo Experimental Centro-altos de Jalisco del INIFAP, en Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

Residuos orgánicos e instalaciones

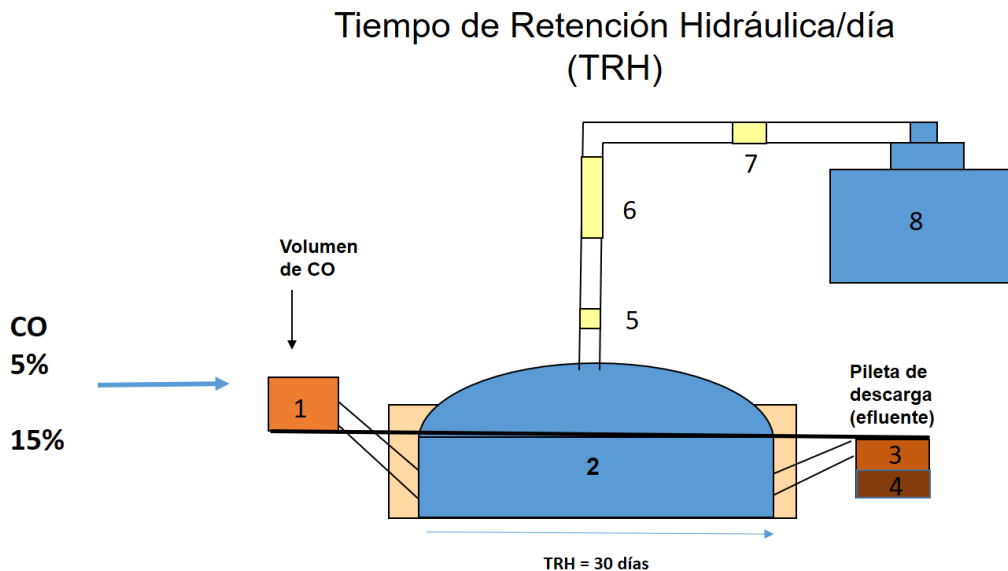
Del área de gestación de un total de 12 hembras en producción con un peso promedio de 220 Kg, se recolectaron 22 Kg de excretas frescas por día, la recolección se realizó de forma manual (pala y carretilla) con la finalidad de evitar la pérdida de nutrientes.

Biodigestor

Se utilizó un biodigestor anaeróbico tipo laguna con una capacidad de 6 m³ que opera a una temperatura mesofílica (32°C) en el exterior y manteniendo una temperatura promedio (24°C) en el interior, con régimen de alimentación de flujo continuo que ayuda a la agitación en el interior por gravedad y presión, con un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 30 días (Figura 1). Adyacente al biodigestor, existe la pila de descarga (efluente).

Cargas orgánicas

Una vez removidas las excretas sólidas de las jaulas, se pesaban, para determinar los porcentajes de carga orgánica (CO), en un cilindro de 100 L (capacidad máxima del biodigestor por día) se mezclaban y se aforaban con agua corriente para ajustar a los dos niveles de carga establecidos, CO15% y CO5%, con una proporción de 1:5 y 1:9, respectivamente. La CO se decantaba en la pileta de carga del reactor (Influyente).



1. Pileta de carga, 2. Biodigestor, 3. Pileta de descarga, 4. Efluente sólido (lodos), 5. Válvula para muestra de biogás, 6. Filtro de biogás, 7. Medidor convencional de gas, 8. Contenedor de biogás.

Figura 1. Esquema de biodigestor y sus componentes



Muestreo de subproductos en el periodo experimental

El diseño experimental consto de 4 periodos de 40 días cada uno, dos periodos para cada nivel de CO, con 10 días de adaptación entre cada nivel de carga. El muestreo se realizó semanalmente por triplicado en cada periodo experimental. En el caso de los lodos, se analizaron muestras compuestas por los muestreos de cada semana.

Las muestras de biogás se tomaron de la válvula de muestreo la cual sale del domo del digestor con un equipo marca LANTEC, el cual determinó el porcentaje de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) presentes en el biogás.

Los lodos se muestrearon directamente del efluente del biodigestor, del tubo de salida hacia la pila de descarga. La muestra se tomó en su forma física sólida (lodos), y después se desecaron al sol en charolas de aluminio, para después moler, conservar y analizar. Se realizó un análisis nutrimental, considerando Carbono Total (CT) y Nitrógeno Total (NT), Materia Orgánica (MO), Fósforo (PT), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Azufre (S). Además de pH y Conductividad Eléctrica (CE), la metodología utilizada para cada análisis se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y concentración nutrimental de los subproductos derivados de un biodigestor, con TRH de 30 días

Parámetro	Unidades	Método
Temperatura ambiental	°C	Estación climatológica
CH ₄	%	LANDTEC
pH y CE	µS/cm	Potenciómetro (1:5)
CT y NT	%	Dumas (Combustión seca)
MO	%	Gravimetría
PT	%	Vanadato-Molibdato Amarillo (espectrofotometría)
K, Ca, Mg	%	Espectrómetro absorción atómica (digestión húmeda con ácido nítrico perclórico)
Na, Fe, Zn y Cu	mg/Kg ⁻¹	
S	mg/Kg	Espectrómetro cuantificación turbidimétrica

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva y diferencial, en el programa R (4.3.1) con los paquetes *fligner.test*, *shapiro.test*, *aggregate* y *dplyr*, el valor de *P* se calculó con una prueba de t de Student para comparar medias (pareadas) de los datos provenientes de distribuciones normales y homogéneas.



RESULTADOS

Se determinaron las siguientes variables para conocer el origen de los residuos sólidos y líquidos de la unidad de producción (Tabla 2, 3 y 4). El biogás es considerado un subproducto primordial, por lo que se determinó su calidad, en cuanto al porcentaje de metano.

Tabla 2. Origen de residuos orgánicos sólidos y líquidos / día / animal, para influente de biodigestor, con un TRH de 30 días (n=12 cerdas gestantes)

Variable	Promedio	Unidad
Peso	220	Kg.
Consumo Alimento	2.5	Kg
Excreta sólida	1.8	Kg
Limpieza del área (manual)	1	día
Tiempo de limpieza	30	min
Gasto de agua en limpieza	7	L

Tabla 3. Porcentaje de metano, por nivel de carga orgánica

nivel %	CO15%		CO5%		p
	media	sd	media	sd	
CH ₄	61.68	1.29	59.68	0.81	0.02

CH₄: Metano, CO15%= Carga Orgánica 15%, CO5%=Carga Orgánica 5%. sd=desviación estándar.

Tabla 4. Relación C/N, porcentaje de Materia Orgánica, Nitrógeno Total y Fosforo Total de lodos, derivados de biodigestor, con TRH de 30 días

nivel %	CO15%		CO5%		p
	media	sd	media	sd	
C/N	9.52	2.25	9.55	2.04	0.9157
MO	53.98	4.28	57.41	4.17	0.0714
CT	31.32	2.48	33.01	2.05	0.0439
NT	3.4	0.57	3.56	0.62	0.1071
PT	4.01	0.92	3.92	0.36	0.6691

CO15%= Carga Orgánica 15%, CO5%=Carga Orgánica 5%, sd=desviación estándar. C/N=Relación Carbono Nitrógeno, MO=Materia Orgánica, CT=Carbono Total, NT=Nitrógeno Total y PT=Fosforo Total.



DISCUSIÓN

Residuos orgánicos e instalaciones

En este estudio se estandarizó dos niveles de carga orgánica, en un biodigestor piloto tipo laguna, de acuerdo con el manejo de limpieza instalaciones (forma manual), privilegiando el menor gasto de agua de lavado, 7 L por cerda/día (Tabla 2), en este sentido ([Chao et al., 2012](#)) en condiciones de producción contabilizó el gasto de agua de limpieza (agua a presión), tratando 8.3 m³ de residuos (cerdos en crecimiento) y promediando 25.5 L por animal, concluyendo que son grandes gastos de agua que encaren la inversión en tratamiento de residuales porcinos.

En cuanto a las CO, no hay una medida, ni una fórmula, que determine el porcentaje de la CO que debe entrar a un biodigestor, una vez establecida la CO, se determina el TRH. En este estudio se estableció un máximo (15%) de CO (1:5) y un mínimo de (5%) de CO (1:9), con 30 días de TRH, en el biodigestor. Diversos autores, como ([Garzón & Buelna, 2014](#)), se enfocan a la eficiencia de los biodigestores para concentraciones o porcentajes de remoción de los principales parámetros físico-químicos del influente y efluente de un biodigestor: pH, temperatura, CE, Demanda Química Oxígeno (DQO), Sólidos Sedimentables Totales (SST) y Sólidos Sedimentables Volátiles (SSV) ([Chibás et al., 2017](#)), otros determinan remoción de materia orgánica ([Trejo et al., 2014](#)), pocos autores resaltan la calidad de los efluentes sólidos como fuente de nutrientes, los cuales tienen la característica de abonos orgánicos. Algunos autores manejan proporciones como medida estándar para determinar la CO, tal es el caso de [Cubillos et al. \(2018\)](#) donde combinó TRH (5 y 8 días) y relaciones estiércoles / agua de lavado de lavado (1:10, 1:7 y 1:4), de un biodigestor tubular escala piloto, resaltando que 8 días para la relación 1:7, obtuvo remociones de más de 80% en DQO, analizando influente y efluente de las diferentes CO. Debido a que los procesos de fermentación requieren de diversos factores para su funcionamiento: medioambientales, manejos productivos, características de los residuos, cargas orgánicas y TRH, se deben establecer parámetros y factores de operación para lograr mayores eficiencias en el manejo y tratamientos de residuos porcinos, esto para la disposición final de los efluentes ([Pérez Pérez et al., 2016](#)).

Subproductos

Biogás

El porcentaje de metano (CH₄), de acuerdo al nivel de CO, tuvo diferencias significativas $P < 0.05$, siendo menor la calidad de dicho elemento, en la menor CO (Tabla 3).

Al determinar dos CO, aplicando un modelo integrado de producción sostenible [Galindo et al. \(2020\)](#), daba por hecho que el porcentaje de metano, en la CO5% el valor cuantificado sería menor al rango de producción (40 – 70% de metano), en el presente estudio el promedio de metano fue de 59.68%±0.81, valor que se encuentra dentro del rango esperado en biodigestores con diferentes CO y diferentes TRH ([Sepúlveda et al., 2020](#)). En cuanto al nivel de CO%15, la media fue de 61.68±1.29, recordando que el biodigestor trabajó con flujo continuo y TRH de 30 días. Al comparar estos resultados con los 68.4%, que obtuvieron, [Lansing et al. \(2008\)](#) trabajando con un biodigestor a pequeña escala, donde el origen de la excreta fue de 12 cerdos, se observó que, las 7



unidades porcentuales más que en este estudio, pueden atribuirse a que el biodigestor de ellos tenía mayor volumen (40 m³), en proporción entro más CO, además de un TRH de 44.4 días. Lo cual pudo haber influenciado en más generación de biogás por mayor tiempo de proceso. Por otro lado, [Alonso et al. \(2014\)](#), determinaron el volumen de residual por granja, las dimensiones del reactor y finalmente la producción de biogás en m³/día, en base a edades (fin zootécnico) y a los pesos de los porcinos en la granja. Concluyeron que la relación directa que existe del mayor porcentaje de CO y del metano, se relaciona no solo con la capacidad de los biodigestores y la calidad del biogás, sino que también se asocia con la cantidad y categoría animal. Además, indican la conveniencia de que este tipo de estudios se realice en granjas de pequeña y mediana escala, donde los niveles de CO puedan medirse, controlarse y registrarse, contribuyendo al grado de sostenibilidad. Esta sugerencia se validó en el presente estudio. Con relación a la fermentación anaeróbica de los residuos sólidos de cerdo, de acuerdo con [Reyes & Pérez, 2019](#), para someter de manera adecuada estos sustratos al proceso biológico de dicha descomposición, es importante conocer sus características físico-químicas, bioquímicas y microbiológicas, lo cual contribuye a las decisiones de manejo de residuos orgánicos, presencia suficiente de bacterias anaerobias, producción de fertilizantes orgánicos de calidad y otras relacionadas con la generación de energía y descontaminación ambiental [\(Pérez & Mata, 2016\)](#). Para valorar este tipo de variables, es conveniente que en el proceso haya flujo continuo, lo cual se logra diluyendo el estiércol con agua. En el caso de la presente investigación, se determinó como adecuada una proporción de 1:7 (promedio), la cual coincidió con la que [\(Castro et al., 2019\)](#), han utilizado como mejor opción en estudios con estiércol porcino.

Lodos

Con relación a los parámetros físico-químicos que se determinaron en los efluentes sólidos del biodigestor, se tiene que la CE, una de las principales limitantes para uso agrícola del efluente porcino, con CO15%, media de 4.4±1.1 y CO5%, media 4.8±1.0, no mostró efecto del nivel de CO ($p > 0.05$); estos valores se encuentran ligeramente superiores a los permitidos para una composta (≤ 4 dS m⁻¹) según la [\(Secretaría de Comercio & Fomento Industrial, 2008\)](#) y aplicado directamente en la agricultura, sin mezclar, puede afectar a los cultivos. Se entiende que los valores identificados en el efluente (lodos), pueden atribuirse a la adición de sales solubles que proceden de la dieta de animales. En pH, CO15%, media de 7.2±0.1 y CO5%, media de 7.2±0.2, tampoco fueron suficientes los niveles de CO para modificar los valores de pH. Sin embargo, como en ambos casos fueron neutros ($p > 0.05$), se encuentran dentro del rango conveniente, lo que sugiere que tanto 5% como 15 % de niveles de CO son adecuados para el grado de acidez de los efluentes sólidos del biodigestor. También pudo haber influido que el agua de manejo en la granja tenga pH neutro. La relación C/N, CO15%, media de 9.5±2.2 y CO5%, media de 9.5±2.0, indicó sin efecto a los niveles de CO ($p > 0.05$); no obstante, el valor medio obtenido sugiere que el efluente sólido se encuentra en un grado de mineralización relativamente adecuado, al comparar con el rango de referencia de 10-30, según la [\(Secretaría de Comercio & Fomento Industrial, 2008\)](#).



Con relación al potencial que tienen los subproductos como fuentes de abonos orgánicos, se atribuye a que dentro del biodigestor las bacterias metanogénicas que son las productoras del biogás, requieren de nutrientes para sus funciones de desarrollo y crecimiento; sin embargo, en la fracción líquida de la cámara de fermentación se conservan nutrientes solubles. Mientras que, en la fracción sólida, si bien los nutrientes son absorbidos, al salir el efluente con un segundo tratamiento se pueden conservar y estar disponibles. Por tanto, ambas fracciones pueden aportar elementos nutritivos, razón por la cual se les confieren propiedades de abonos orgánicos. El proceso y valores de referencia de los macronutrientes N-P-K, se pueden comparar con lo reportado por (Cabos *et al.*, 2019), quienes trabajaron con efluentes provenientes de la especie bovina, de igual forma Vicente *et al.* (2020), quienes tomaron efluentes de biodigestores como potenciales bioabonos para los sistemas de cultivo, dando valor agregado a los residuos sólidos y líquidos pecuarios. A pesar de lo anterior, en la práctica el efluente sólido (lodos) como abono orgánico tenga limitantes de uso por sus características de alto contenido de humedad, lo cual resulta tardado y costoso el brindar tratamiento complementario.

En este sentido, (Martínez & Francesena, 2018) describen tecnologías físicas (separación de sólidos y fase de secado) y métodos biológicos (compostaje) para tratar los efluentes y posteriormente utilizarlos, esta propuesta es por demás interesante, al pasar los desechos porcinos por los biodigestores, los efluentes resultantes entran en tratamientos secundarios y terciarios para una mejor recirculación de nutrientes y brindar esquemas de mitigación más completos. Tratar los lodos de la pileta de descarga de un biodigestor, resulta incosteable para pequeños y medianos productores porcícolas. En este punto la controversia de utilizar biodigestores para el tratamiento de los residuos porcinos, resurge debido a que los efluentes de los biodigestores no cumplen con las normas de muchos países de Latinoamérica, por lo que requieren tratamientos complementarios, en sus dos formas físicas (sólidos y líquidos). En un biodigestor tubular alimentado con estiércol porcino Peñafiel *et al.* (2021), trabajando con excreta de cerdo, en proporción de 1:4, determinaron parámetros físico-químicos del influente y efluente en su forma líquida. Obtuvieron remoción de contaminantes importante en el líquido, esta remoción no cumple con la normativa vigente sobre descargas a cuerpos de agua en Sudamérica.

En México Cano *et al.* (2016), caracterizaron efluente líquido de fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas, de igual forma en sus parámetros físico-químicos, con proporciones 1:3 (bovino) y 1:2 (porcino). Encontraron que estos pueden aplicarse como enriquecedores de bioresiduos agrícolas. En el presente caso, con un tratamiento complementario de secado al aire libre, se analizaron los componentes nutritivos de lodos (Tabla 4). Sobresale que, el contenido de MO resultó alto en los niveles de CO; en ambos casos rebasan el 50% con tratamiento complementario, pudiendo utilizarse en la agricultura. Por otro lado, tanto en el contenido de MO, como en el CT, los valores fueron mayores en la menor CO, con $p = 0.0714$ y $p = 0.0439$, respectivamente. Respecto a las concentraciones de macronutrientes encontradas, aunque no hay efecto significativo de los niveles de CO en NT ($p > 0.05$) y PT ($p > 0.05$), fue relevante que en ambos nutrientes los efluentes en el presente estudio superan ampliamente a los valores obtenidos en Argentina (Riera *et al.*, 2021): en NT, la media general de 3.48 % obtenida en los Altos de Jalisco, fue superior al 0.04 % del efluente porcino con tratamiento complementario



(filtración). Mientras en PT, la media general de 3.96 % en Altos de Jalisco, fue superior al 1.75 % que se reportó en Argentina. Comparando las concentraciones de NT y PT por periodos, se observó que independientemente de los niveles de CO, en el segundo periodo las concentraciones de NT tienden a disminuir, en tanto con PT ocurre lo contrario, ya que los valores se incrementan (Figura 2).

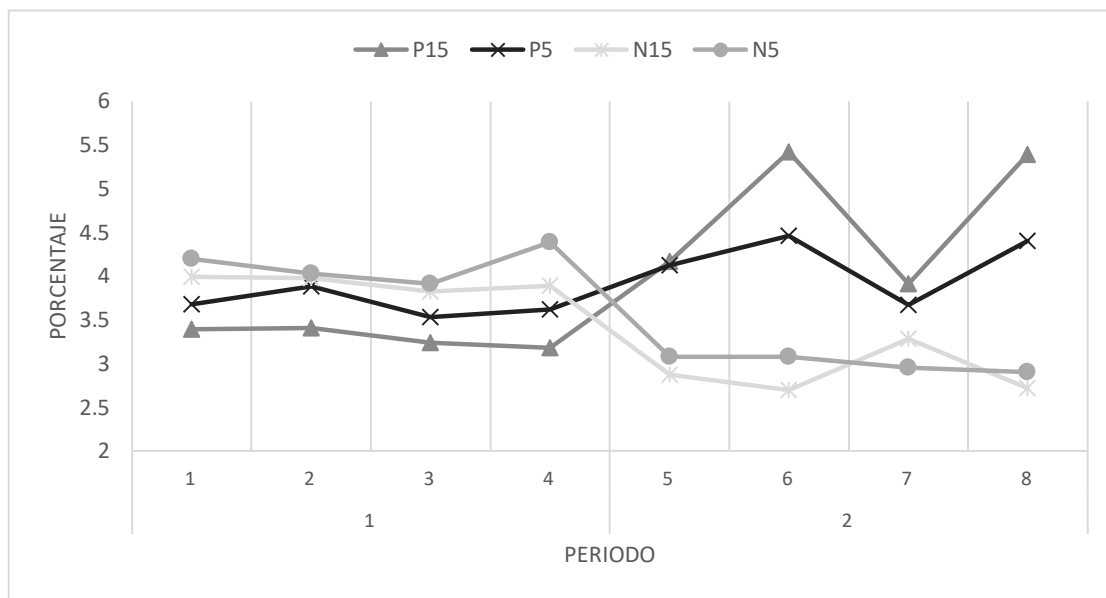


Figura 2. Porcentaje de P15=Fosforo 15%, P5=Fosforo 5%, N15=Nitrógeno 15% y N5=Nitrógeno 5%, derivados de un biodigestor, con TRH de 30 días

En cuanto a los micronutrientes (Tabla 5), los efluentes de la digestión de estiércol porcino también pueden ser una fuente importante para abastecer los requerimientos de nutrición por los cultivos. López et al. (2017) han evaluado su efecto sobre el crecimiento y desarrollo del tomate. Al respecto, destaca que precisamente el único micronutriente que mostró efecto significativo por mayor nivel de CO, fue Zn ($p = 0.0336$), registró concentraciones de 4413.51 mg/kg, muy superiores a los 0.10 mg/kg obtenidas en Argentina por (Riera et al., 2021). Cu es otro micronutriente que reportan estos autores, en la composición del efluente porcino que obtuvieron, con valor de 0.05 mg/kg; mientras que en el presente estudio se obtuvo una media de 768.97 mg/kg. El resto de los microelementos, comparados con la (Secretaría de Comercio & Fomento Industrial, 2008) en compostas sólidas, se encuentran también dentro de los rangos aceptables, lo cual sugiere que, en el presente estudio, el proceso de producción de efluentes porcinos mediante el biodigestor piloto tipo laguna, es adecuado para que sean utilizados como abonos orgánicos de calidad nutricional en la agricultura.



Tabla 5. Concentración de nutrientes de lodos, derivados de un biodigestor, con TRH de 30 días

nivel mg/kg	CO15%		CO5%		p
	media	sd	media	sd	
Mg	9471.96	3031.64	9901.07	2743.04	0.1029
S	3447.26	592.82	3266.27	455.01	0.1722
Cu	745.57	252.53	792.38	319.85	0.2286
Zn	4413.51	1419.58	3907.13	1060.21	0.0336
Ca	22839.82	4714.12	22913.17	2293.12	0.9574
K	5317.45	886.04	5251.11	1465.27	0.9121
Na	1662.7	479.00	1543.27	559.19	0.6727
Fe	8404.23	896.84	8539.48	635.89	0.4694

CO15%= Carga Orgánica 15%, CO5%=Carga Orgánica 5%. Sd=desviación estándar. Mg=Magnesio, S=Azufre, Cu=Cobre, Zn=Zinc, Ca=Calcio, K=Potasio, Na=Sodio y Fe=Hierro.

CONCLUSIONES

Clasificar y tipificar a las granjas productoras de carne de cerdo es indispensable para un buen manejo y aprovechamiento de sus residuos. Además, se debe caracterizar y evaluar a los residuos de acuerdo a su manejo y tratamiento al que se someterán para una adecuada disposición final.

La producción de metano para generar energía debe ser monitoreada constantemente para alcanzar la mitigación de gases de efecto invernadero, pero sobre todo para que la tecnología sea redituable en los sistemas de producción porcina. Los efluentes siguen siendo un problema por falta de capacitación a los productores, falta de recursos y sobre todo falta de conciencia ambiental. La implementación de los biodigestores se debe direccionar en una forma integrada en un sistema de manejo de residuos, para que sus subproductos sirvan de base para la implementación de otro proceso o sistema, los llamados pos tratamientos de los efluentes, separación mecánica y termodinámica de sólidos, secado, compostaje y aireación.

LITERATURA CITADA

ALONSO-ESTRADA D, Lorenzo-Acosta Y, Díaz- Capdesuñer YM, Sosa-Caceres R, Angulo-Zamora Y. 2014. Tratamiento de residuales porcinos para la producción de biogás. *ICIDCA. Derivados de La Caña de Azucar*. 48(3):16–21.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223132853003>



BARRERA-CARDOSO E, Odales-Bernal L, Carabeo-Pérez A, Alba-Reyes Y, Hermida-García F. 2020. Compilation of theoretical aspects on biogas production technologies at rural scale. *Tecnología Química*. 40(2): 303–321.

<https://doi.org/http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v40n2/2224-6185-rtq-40-02-303.pdf>

CABOS S, Bardales VCB, León TCA, Gil RLA. 2019. Evaluación de las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa*. 26(3): 1165–1176. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26321>

CAMARENA M, Martínez MJH, Saldaña RA, Nuñez PHG, Costilla SR, Valdez VI, Lovanh N, Ruiz AG. 2020. Effects of experimental parameters on methane production and volatile solids removal from tomato and paper plant wastes. *BioResources*. 15(3):4763–4780. <https://doi.org/10.153767biores.15.3.4763-4780>

CANO H, Bennet EA, Silva GE, Robles GS, Sainos AU, Castorena GH. 2016. Caracterización de bioles de la fermentación anaerobica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia*. 50:471–479.

https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952016000400471&script=sci_arttext

CASTRO M, Parrales RY, Escalante HH. 2019. Co-digestión anaerobia de estiércoles bovino, porcino y equino como alternativa para mejorar el potencial energético en digestores domésticos. *Revista ION*. 32(2):29–39. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019003>

CHAO E, Sosas CR, Capdesuñer YD. 2012. Gasto de agua de limpieza y tratamiento del residual en naves de ceba porcina. *Mecanización Pecuaria*. 21(3):69–72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93223725012>

CHIBÁS G, Casanovas CE, Pérez PA. 2017. Comparison of the efficiency of the fixed dome and geo-membrane biodigesters in the swine production systems in the Cienfuegos province. *Revista Científica Agroecosistemas*. 5(1):79–83.

<http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

CUBILLOS S, Huertas HDM, Contreras LH. 2018. Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto. *Ciencia e Ingeniería*. 5(1):43–57. <http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei>

DURANTE M, De Oliveira. 2022. Features of anaerobic digestion plants in the brazilian agricultural sector. *Cleaner and Circular Bioeconomy*. 1, e100001. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2021.100001>

GALINDO B, Domínguez AG, Arteaga GRI, Salazar GG. 2020. Mitigation and adaptation to climate change through the implementation of integrated models for the management and use of livestock residues. Review. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*. 11:107–125. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V11S2.4697>



GARZÓN Z, Buelna G. 2014. Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. *Revista. Internacional de Contaminación Ambiental*. 30(1): 65–79.

<https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n1/v30n1a6.pdf>

LANSING S, Botero R, Martin JF. 2008. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology*. 99(13):5881–5890.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.090>

LÓPEZ D, Hurtado CA, Gomez LY, Gil UZ, Henderson D, Jimenez J. 2017. Agronomic effect of the biosolid in tomato cultivation (*Solanum lycopersicum*): biological control of *Rhizoctonia solani*. *Cultivos Tropicales*. 38(1):13–23.

<http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n1/ctr02117.pdf>

MAGNUSSON T, Zanatta H, Larsson M, Kanda W, Hjelm O. 2022. Circular economy, varieties of capitalism and technology diffusion: Anaerobic digestion in Sweden and Paraná. *Journal of Cleaner Production*. 335, e130300.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130300>

MARTÍNEZ HERNÁNDEZ C, Francesena López Y. 2018. Tratamiento y utilización de efluentes de instalaciones de biogás como abonos orgánicos, revisión y análisis. *Centro Agrícola*. 45(2):83–92. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v45n2/cag12218.pdf>

PEÑAFIEL A, Collahuaso E, Pérez MA, Diéguez SK. 2021. Caracterización del funcionamiento de un biodigestor tubular alimentado con estiércol porcino en la Amazonia Ecuatoriana. *Ingenio Magno*. 12(1):6-24.

<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2306>

PÉREZ E, Cervantes H. 2018. Estrategias de mitigación. El programa de biodigestores en Yucatán, México. *Península*. 8(2):235–262.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-57662018000200235&script=sci_abstract

PÉREZ GONZÁLEZ Y, Mata Varela M. 2016. Eficiencia del tratamiento de residuales ganaderos en digestores de geomembrana. *Agrosost*. 22(3):29–36.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93931761025>

PÉREZ PÉREZ T, Pereda RI, Oliva MD, Zaiat, M. 2016. Anaerobic digestion technologies for the treatment of pig wastes. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 50(3):343–354.

<https://www.researchgate.net/publication/312191418>

REYES A, Pérez C. 2019. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las excretas de ganado, caballo, cerdo y gallinaza para la generación de biogás. *Revista Científica de FAREM-Estelí*. 8(31):97-108. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i31.8474>



RIERA NI, Beily ME, Viton M, Giufre L, Crespo D. 2021. Removal of organic matter and nutrients from a porcine effluent, through geo-containment filtration. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 11(1):35–41. <https://doi.org/10.9790/2380-1101033541>

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2008. NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (Lombricomposta) - Especificaciones y Métodos de Prueba. México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5044562&fecha=10/06/2008#gsc.tab=0

SEPÚLVEDA C, Hernández GJ, Sepúlveda VR, Tejada BH, Espinosa CD, Wilches BC. 2020. Modelo de biodigestores para la producción porcina en la granja La Nueva Gloria. In *Alternativas de sostenibilidad ambiental para comunidades en el departamento de Córdoba*. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia. Pp.105–123. ISBN: 978-958-764-980-6. <https://doi.org/10.18566/978-958-764-908-6>

SOMAGOND A, Vinay B, Khan SS, Wankhade P, Miranda C, Kanaka K. 2020. Mitigation of odour in swine production facilities: A Scientific Approach. *International Journal of Livestock Research*. 10(4):1–12. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20>

TAIT S, Harris PW, McCabe BK. 2021. Biogas recovery by anaerobic digestion of Australian agro-industry waste: A review. *Journal of Cleaner Production*. 299, e126876. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126876>

TREJO L, González VLB, Uicab JA, Castillo CJ, Caamal MA, Belmar CR, Santos RR. 2014. Eficiencia de remoción de materia orgánica de aguas residuales porcinas con biodigestores en el Estado de Yucatan, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17(2):321–323. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93931761025>

VICENTE J, Morán I, Carlos R, Ríos P, Molina BVA. 2020. Efluentes de biodigestores para la producción de bioabonos y biogás. *Magazine de Las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*. 5(6): 79–84. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/view/885>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>