

## **Estimación del potencial de biogás a partir de la gallinaza**

### Estimation of the biogas potential from poultry litter

Wendy L. Duharte-Rodríguez<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/000-0003-0385-7926>

Leyanet Odales-Bernal<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7907-2805>

Rozney R. Álvarez-Meneses<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2847-5740>

Lisbet M. González-López<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2362-5703>

Ernesto L. Barrera-Cardoso<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0207-4188>

<sup>1</sup>Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Sancti Spíritus, Cuba

<sup>2</sup>Delegación Provincial del Ministerio de la Agricultura en Sancti Spíritus, Cuba

\*Autor para correspondencia: correo electrónico: [wendy@uniss.edu.cu](mailto:wendy@uniss.edu.cu)

### **RESUMEN**

Los avances de las tecnologías para la generación de biogás han permitido revalorizar a la gallinaza por su alto contenido energético. En este trabajo se realizó el estudio del potencial energético de la Empresa Avícola de la provincia Sancti Spíritus, como una alternativa factible para el tratamiento de sus residuales. Se realizó la caracterización físico-química de la gallinaza y la determinación del potencial de biogás y la potencia eléctrica y térmica que se puede generar a partir de la misma. Los sólidos volátiles

estuvieron dentro del rango reportado por la literatura para la gallinaza de reemplazo y ponedora, siendo de 44,20 % y 43,09 % respectivamente. Se estimó que se pueden generar diariamente 8 178 m<sup>3</sup> de biogás, que representarían una producción entre 6 656 MWh de energía eléctrica y 9 641 MWh de energía térmica al año, lo que puede sustentar en gran medida la demanda energética de las granjas avícolas.

**Palabras clave:** gallinaza; biogás; potencial de biogás.

## **ABSTRACT**

Technological advances for biogas generation have allowed to revalue the poultry litter as it is a source of biomass with a high energy content. In this work was realized the potential study of the Poultry Litter Industry of the Sancti Spiritus province as a feasible treatment of its wastes. Physical-chemical characterization, biogas potential determination and the electrical and thermal power from poultry litter was carried out. The volatile solids were within the range reported by the literature for replacement and laying hen manure, being 44, 20 % and 43, 09 % and it was estimated that 8178m<sup>3</sup> of biogas can be generated daily, which would represent a production between 6656 MWh of electrical energy and 9 641 MWh of thermal energy per year, which would largely support the energy of the demand of poultry farms.

**Keywords:** poultry litter; biogas; biogas potential.

Recibido: 10/10/2020

Aprobado: 23/12/2020

## **Introducción**

Una tecnología que se ha empleado para la reducción de la contaminación por acumulación de residuales al final del proceso productivo, ha sido la digestión anaerobia (DA). Un tratamiento bioquímico y microbiológico que puede valorizar los residuales generando energía y nutrientes a partir de la fracción biodegradable de la materia

orgánica de los mismos. Esta alternativa de tratamiento es considerada para la reducción de emisiones de efecto invernadero y la mitigación de los vertimientos indiscriminados al medio ambiente.<sup>(1)</sup> El proceso se basa en la acción de un grupo de microorganismos específicos, que en ausencia de oxígeno, transforman la materia orgánica en productos gaseosos o “biogás” (metano CH<sub>4</sub>, dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, dihidrógeno H<sub>2</sub>, sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (nitrógeno N, fósforo P, potasio K, calcio Ca) y otros compuestos de difícil degradación.<sup>(2)</sup>

Predecir el potencial del biogás es un tema clave para la elaboración de programas de desarrollo de la tecnología de DA, como primera etapa de evaluación de su viabilidad.<sup>(3)</sup>

La cantidad de biogás producido y el contenido de CH<sub>4</sub> (componente que le confiere las propiedades combustibles al biogás) en la fase gaseosa, dependen del residuo que se biodegrada y su estado de oxidación. A mejor biodegradabilidad y más bajo estado de oxidación, se producirán más metano.<sup>(3)</sup> En condiciones favorables con materia orgánica soluble en agua, se puede lograr grados de conversión cercanos al 100 %, pero si la materia orgánica es particulada, se alcanzan conversiones entre el 30-60 %.<sup>(4)</sup>

Las Unidades Empresariales de Base (UEB) productivas de la Empresa Avícola Sancti Spíritus (SANTICAN) constituyen líderes de su tipo en la región central del país. Tienen como misión, producir y comercializar con eficiencia huevos, carne de aves y otros productos agropecuarios en función de satisfacer las necesidades del consumo, de acuerdo a la política estatal definida para la avicultura. De la misma forma que aumenta la producción se generan grandes volúmenes de residuos denominados gallinaza. La misma comprende la mezcla de heces, orina, plumas, restos de comida y huevos rotos, así como aguas residuales, residuos no orgánicos (cartón, vidrio, materiales plásticos, bolsas, papel u otros similares) y residuos peligrosos (empaques, recipientes, insumos vencidos o dañados). Durante el ciclo productivo (cierres de crianza y recolección) del año 2019 se generaron alrededor de 16 250 000 t de este residuo.

La gallinaza es considerada como uno de los subproductos de más importancia y se diferencia de otros estiércoles, porque posee un mayor contenido de nutrientes, debido a las altas concentraciones en las raciones que consumen, pero como ocurre con otros materiales, la composición final depende del proceso de deshidratación, adecuado manejo, almacenamiento y cantidad de cama utilizada. Está formada por materiales hidrocarbonados, compuestos nitrogenados y una gran población microbiana.<sup>(4)</sup> Datos reportados por Suárez-Hernández y colaboradores <sup>(5)</sup> expresan que cada 24 h una gallina

produce entre 120 a 150 g de excretas y esta cantidad depende del tamaño, estado fisiológico del ave, la dieta y la época del año. Esto equivale, aproximadamente, a 12,5 kg de materia seca por gallina al año.

La gallinaza en Cuba hasta el momento no constituye uno de los residuos a explotar, producto a que existen escasas indagaciones sobre las características de los constituyentes principales que la componen y la aplicación de tecnologías limpias más acordes para su procesamiento. Su tratamiento mediante la DA pudiera ofrecer múltiples ventajas tales como: la reducción de emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero, sustitución de combustibles fósiles y la obtención de un bioabono rico en nutrientes.<sup>(4)</sup> Además, con el uso del mismo en este sector se pueden disminuir los costos operativos en demandas como la calefacción o la energía eléctrica, alcanzando un grado de autoabastecimiento.

Por lo antes expuesto la presente investigación estuvo centrada en caracterizar físico-química la gallinaza y estimar el potencial de generación de biogás en las granjas de SANTICAN.

## **Materiales y métodos**

### **Muestreo**

SANTICAN cuenta con un total de 11 UEB. Se muestreó una granja de cada tipo (Reemplazo y Ponedora) debido a que entre ellas solo varía la capacidad máxima de animales que puede almacenar y la cantidad de aves. Se tuvieron en cuenta elementos técnicos: similitud en el manejo y tipo de alimentación-nutrición. Para la recolección de la muestra se aplicó la técnica de cuarteo para así poder tener una muestra representativa. Se tomaron 4 kg de los 20-40 kg almacenados en los nichos durante 112-148 días, para los análisis del residuo, siendo empaquetados e identificados.

### **Medición de los parámetros físico-químicos**

Para la caracterización físico-química de la gallinaza se utilizaron los procedimientos descritos en los Métodos Estándares,<sup>(6)</sup> y fueron realizados en el laboratorio de Biogás e

Ingeniería Ambiental de la Universidad de Santi Spíritus. Se determinaron los sólidos totales (ST) y los volátiles (SV) por el método gravimétrico de ignición, utilizando una estufa marca BINDER y una mufla marca Nabertherm GmbH. El porcentaje de Carbono Orgánico (C) <sup>(7)</sup> se estimó a partir de los SV, ecuación 1. Se determinó el contenido de nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) por el método Kjendalh en un destilador modelo Gerhardt Vapodest 10s y la acidez (pH) por potenciometría en un pHmetro modelo PHSJ-3F.

$$\%C = \frac{\%SV}{1,724} \quad (1)$$

donde:

1,724= factor de conversión

### Estimación del potencial de generación de biogás

El potencial de generación de biogás se determinó a partir de la cantidad total de biomasa que es generada en forma de residuos, sin considerar restricciones técnicas o económicas. Para determinar el valor real o implementable de biogás se utilizaron los índices que se muestran en la tabla 1. Los índices en base a la materia fresca no tiene en cuenta la concentración de SV en el sustrato.<sup>(5)</sup> Los otros restantes tienen en cuenta los SV de la caracterización previa y el último incluye condiciones de pretratamiento al sustrato.<sup>(1,8)</sup>

**Tabla 1-** Índices teóricos para la estimación de generación del biogás.

Indicadores	Parámetros	Índices teóricos		
		Potencial teórico de biogás		
Tipo de granja	Excretas/día <sup>(1)</sup> (kg)	En base a la materia fresca <sup>(5)</sup> (m <sup>3</sup> /d)	En base a los Sólidos volátiles <sup>(8)</sup> (m <sup>3</sup> /t SV/d)	En base a los Sólidos volátiles con sustrato pretratado <sup>(1)</sup> (m <sup>3</sup> /t SV/d)
Ponedora	0,12 – 0,15			
Reemplazo	0,05 -0,08	60-80	311,1	363,64- 654,55

Se determinaron los potenciales máximos y mínimos que podrían generarse combinando los valores máximos de las cantidades de excretas generadas y los de sólidos volátiles determinados; y viceversa para el caso de los potenciales mínimos.

Se consideró que 1 m<sup>3</sup> de biogás puede generar como máximo 2,32 kWh de energía eléctrica y 3,23 kWh de energía térmica en motores de combustión interna con tecnología alemana.<sup>(9)</sup> A partir de estos indicadores, se obtuvo el potencial de biogás y potencial energético que podría generarse mediante la DA de la gallinaza de SANTICAN.

## Resultados y discusión

### Caracterización físico- química de la gallinaza

Teniendo en cuenta lo planteado en los materiales y métodos para la determinación de los parámetros físico químico: sólidos totales, volátiles, carbono orgánico, pH y nitrógeno amoniacal, se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 2).

**Tabla 2.** Características físico-químicas de la gallinaza generada en las UEB productivas de SANTICAN.

Gallinaza	ST (%)	SV (%)	% C	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (g/kg)
Reemplazo	91,53 ± 0,77	44,20 ± 0,53	25,64	8,07 ± 0,01	254,00 ± 10,60
Ponedora	61,91 ± 0,77	43,09 ± 3,19	24,99	8,84 ± 0,01	422,00 ± 20,40

*Contenido de Sólidos Totales en la gallinaza (ST)*

### Contenido de Sólidos Totales en la gallinaza (ST)

El contenido de ST en la gallinaza de aves de Reemplazo y Ponedora calculado fue de 91,53 % y 61,91 % respectivamente (tabla 2). Este valor ofreció criterios sobre la movilidad de las bacterias dentro del sustrato para el desarrollo del proceso biológico. Se pudo constatar que los resultados se encuentran dentro del rango promedio, que oscila entre 26 - 92 % reportado por Varnero.<sup>(10)</sup> Por lo que el contenido de humedad (diferencia entre la materia fresca y los ST producto a la volatilización del agua). Lo

cual permitirá, un adecuado bombeo y agitación de las mezclas que alimentarán al digestor para la producción de biogás, siendo más eficiente en este caso, el de las ponedoras al tener un valor intermedio. Además, que este resultado se encuentra dentro del rango cuando se quiere valorizar este residual como abono orgánico o para la elaboración de compostaje que está entre 01-02 g (Humedad/g Muestra).<sup>(11)</sup>

### **Contenido de Sólidos Volátiles en la gallinaza**

En el proceso de DA para la producción de biogás los SV poseen gran significancia porque es el parámetro que cuantifica la cantidad de materia orgánica disponible para los microorganismos y por tanto, apropiado para ser transformada en biogás.<sup>(11)</sup> Este contenido para aves de Reemplazo y Ponedora calculado fue de 44,20 %, representando el 70,10 % de los ST y de 43,09 %, representando un 48,29 % de los ST respectivamente (tabla 3). Aunque los valores obtenidos de SV fueron similares, se debe tener en cuenta el alto valor de ST en la gallinaza de reemplazo con respecto a la de la ponedora, que fue dado por el material que se utiliza para la camada (principalmente cascarilla de arroz). Éste es un residuo de consistencia más sólida al estar formado principalmente por polisacáridos,<sup>(12)</sup> lo que podría favorecer la cantidad de materia orgánica disponible y la movilidad para los microorganismos durante la DA. También podría limitar el proceso de degradación durante la obtención de biogás. Los % C calculados a partir de la ecuación (3) fueron de 25,64 en las de reemplazo y de 24,99 en las ponedoras. Cantidades que están en proporción similar a la recomendada de 20 a 30<sup>(13)</sup>, para la actividad de los microorganismos descomponedores principalmente en la producción de compost.

Países como Perú, Ecuador y Colombia, con similar forma de crianza de aves y recolección de la gallinaza que Cuba, plantean que dentro de los parámetros físico químicos, el contenido de SV varía en el rango de 1,5 % a 5,0 %.<sup>(4,13)</sup> Sin embargo, estudios realizados en países como Turquía, Alemania y China, con un gran desarrollo en la avicultura y sistemas mecanizados de recolección de residuos, plantean que el rango de SV de la gallinaza oscila entre 7,44 % a 63,58 %.<sup>(14, 15, 16)</sup> Estos valores muestran la diferencia en comparación con los resultados de la gallinaza cubana, lo que sugiere una influencia marcada de aspectos como el tipo de alimentación, el manejo de los sistemas productivos, el clima y la forma de recolección de los residuos. Por

ejemplo, la recolección mecanizada proporciona valores superiores de los SV en la gallinaza, en comparación con la recolectada manualmente, ya que posee un menor tiempo de almacenamiento dando lugar a una reducción de las pérdidas de compuestos volátiles por la descomposición del residuo.

### **Análisis de pH**

La actividad enzimática de los microorganismos involucrados está directamente relacionada con el pH del medio, guardando una relación con la actividad de los iones hidrógeno y los procesos de generación y degradación de ácidos orgánicos, dentro del biodigestor, siendo un parámetro de gran relevancia para establecer las pautas de la DA. Se establece que el pH en el funcionamiento óptimo debe estar alrededor de la neutralidad, este se ubica entre 6,8 y 7,4.<sup>(17)</sup> Sin embargo, los diferentes grupos bacterianos presentes en la DA presentan unos niveles de actividad en torno a la neutralidad, para acidogénicos entre 5,5 y 6,5 y entre 7,8 y 8,2 para metanogénicos.<sup>(10, 18)</sup>

La tabla 3 muestra el pH de la gallinaza de aves de Reemplazo y Ponedoras, los cuales oscilaron entre de  $8,07 \pm 0,01$  y  $8,84 \pm 0,01$ , respectivamente. Estudios realizados en Turquía, China y Alemania reportaron valores entre 6,63- 8,64 <sup>(19-20)</sup>, por lo que las muestras analizadas se correspondieron con los valores reportados. Por otro lado, la gallinaza analizada presentó valores de pH elevados con respecto al óptimo para la DA. Se ha demostrado que si se regula este parámetro en el reactor se podría favorecer el proceso de metanogénesis y obtener una mayor producción de biogás <sup>(17)</sup>, dado que esta es la etapa limitante para la producción de metano. Además, el pH afecta a los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un determinado componente que tenga influencia en el proceso. Este es el caso de los equilibrios ácido-base del amoníaco y del ácido acético: al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco que, en elevadas concentraciones, es inhibidor del crecimiento microbiano y a valores de pH bajos se genera mayoritariamente la forma no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato.<sup>(10)</sup>

### **Contenido de Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

La determinación de la concentración de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> calculada, se hace indispensable para este sustrato, porque es un nutriente delimitante para el crecimiento bacteriano, aunque una concentración excesiva puede no favorecer su crecimiento.<sup>(1)</sup>

En la tabla 3 se aprecia que en la gallinaza de Reemplazo fue de 254,00 g/kg ± 10,60 y en las Ponedoras fue 422,00 g/kg ± 20,40, corroborando el alto contenido de este tipo de residual. Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo que es de 200 g/kg a 700 g/kg. Se ha demostrado que altas concentraciones de amoníaco/amonio en el sustrato tienen un efecto inhibitorio sobre la metanogénesis, por lo que su acumulación en el procesos de DA podría generar niveles críticos y reducir la tasa de descomposición o incluso detener por completo el proceso.<sup>(1, 9, 21)</sup>

Chen <sup>(21)</sup> plantea que el proceso de metanogénesis se inhibe 50 % por valores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> cercanos a los 220 g/kg en condiciones mesofílicas (37°C) y superiores a 690 g/kg en condiciones termofílicas (55°C). Se apreció que no existieron diferencias entre las condiciones experimentales para los valores promedio de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, lo que sugirió la existencia de factores no controlados durante el experimento como la temperatura ambiental, la humedad relativa del aire, la capacidad de adsorción de los materiales contenidos en las gallinazas, especialmente la cáscara de arroz, entre otros que deben ser estudiados en futuros trabajos.

La destrucción de la materia orgánica, principalmente las proteínas, liberan amoníaco. Cada mol de nitrógeno orgánico teóricamente genera un equivalente de alcalinidad. El amoníaco reacciona con el CO<sub>2</sub> durante una reacción bioquímica para producir bicarbonato de amonio, el cual contribuye a la alcalinidad del sistema.<sup>(1)</sup> Por lo que se puede decir que la gallinaza analizada no necesitará de agentes suplentes para la alcalinización, factor que hay que tener presente para la estabilización de los ácidos grasos volátiles (AGV) que también provocan la inhibición de la producción de biogás. Aunque no se pudo determinar la concentración de nitrógeno total, éste pudiera resultar en mayores concentraciones que el amoniacal durante la DA debido a la desintegración del material particulado y la hidrólisis de las proteínas.<sup>(21)</sup> Con la caracterización realizada de ambos tipos de gallinaza se recomendaría la determinación de otros análisis

que sirvan de complementario a este, como la determinación del % de nitrógeno para obtener la relación carbono/nitrógeno y el % de fósforo para que no tenga solo un valor energético sino también en la producción agrícola.

### Estimación del potencial de biogás

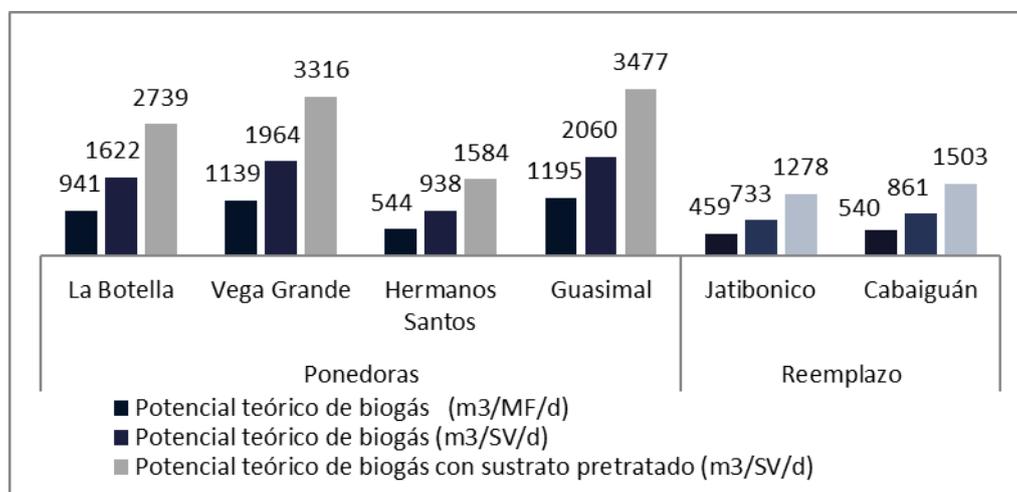
En la tabla 3 se identificaron las UEB productivas de SANTICAN y la función que cumplen. Además, el promedio de aves del año 2019. A partir de la cantidad de biomasa estimada inicialmente y utilizando los índices propuestos en los materiales y métodos se determinó el potencial disponible para la generación de biogás.

**Tabla 3-** Información de las UEB productivas de SANTICAN.

UEB	Propósito	Cantidad Promedio de Aves
La Botella	Ponedoras	85066
Vega Grande	Ponedoras	106734
Hermanos Santos	Ponedoras	52679
Guasimal	Ponedoras	112412
<b>Total</b>		<b>356891</b>
Jatibonico	Reemplazo	81497
Cabaiguán	Reemplazo	95352
<b>Total</b>		<b>176849</b>

El potencial estimado en la literatura para la gallinaza es calculado a partir de un índice teórico. <sup>(5)</sup> Sin embargo, este debe adecuarse a las características propias del sustrato en cuestión. Las diferencias en los resultados se deben a que el índice en base a la materia fresca no incluye la concentración de los SV, siendo estos determinantes en la generación de biogás. Por otro lado, la diferencia entre los dos índices que sí tienen en cuenta los SV se debe a que el reportado en Weithäuser <sup>(1)</sup>, la gallinaza fue sometida a un pretratamiento, lo cual garantiza un mejor acceso a los SV del sustrato y por tanto un

mejor rendimiento luego de la DA. En la figura 1 se observa la comparación del cálculo de los potenciales de biogás.



**Fig. 1-** Comparación del biogás generado en m<sup>3</sup> por el contenido de materia fresca, sólidos volátiles e índice internacional<sup>(1,5,8)</sup>

Anteriormente los valores calculados del mismo se hicieron en función de la materia fresca, como se pudo apreciar en la figura 1 este valor queda muy por debajo del potencial que sí tuvo en cuenta los SV. Por tal motivo, se consideró más apropiado el cálculo, teniendo en cuenta los SV de la gallinaza espirituana y el índice de generación de biogás por kg reportado por Olaya <sup>(5)</sup>, debido que el que contiene solo la materia fresca tiene factores con más incógnitas. Sin embargo, éste aporta una idea general sobre el potencial de biogás para estudios preliminares, y el otro que incluye los SV ofrece una idea más real de la eficiencia que podría tener el proceso con un pretratamiento y las mejoras en el sistema de recolección y procesamiento del residuo.

Tomando el promedio de gallinas existente en todas las Unidades (tabla 4), se observó que las UEB La botella, Vega grande y Guasimal podrían generar entre 1622, 1964 y 2060 m<sup>3</sup> de biogás respectivamente, agrupando el 80,5 % del potencial máximo. Por tanto, teniendo en cuenta los SV de la gallinaza, fue posible estimar el potencial total, el cual resultó estar entre los 7079 y 9277 m<sup>3</sup> de biogás diario.

El biogás es calificado como una alternativa viable para el trabajo en máquinas que poseen combustión interna, debido al bajo dosado estequiométrico (relación entre aire y

combustible, necesario para que la combustión sea completa, sin que falte ni sobre comburente) permitiendo una serie de modificaciones, resultando eficaz y óptimo.<sup>(22)</sup> Debido al contenido de humedad que presenta la gallinaza la convierte en un combustible de uso directo, siendo una ventaja asociada a este residual.<sup>(23)</sup> La tabla 5 muestra el potencial eléctrico y térmico que podría producirse a partir de la DA de la gallinaza, considerando el potencial estimado en la tabla 3.

**Tabla 4-** Potencial de biogás disponible de SANTICAN.

UEB	Excretas (kg/d)		SV (kg)		Potencial de biogás (m <sup>3</sup> /SV/d)		
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	
Ponedoras	La Botella	10756	13445	4635	5793	1442	1802
	Vega Grande	13022	16278	5611	7014	1746	2182
	Hermanos Santos	6221	7776	2681	3351	834	1042
	Guasimal	13657	17072	5885	7356	1831	2289
<b>Total</b>	<b>29999</b>	<b>37498</b>	<b>18811</b>	<b>23514</b>	<b>5852</b>	<b>7315</b>	
Reemplazo	Jatibonico	4100	6559	1812	2899	564	902
	Cabaiguán	4819	7710	2130	3408	663	1060
<b>Total</b>	<b>8918</b>	<b>14270</b>	<b>3942</b>	<b>6307</b>	<b>1226</b>	<b>1962</b>	

**Tabla 5-** Estimación del potencial eléctrico y térmico de la gallinaza.

UEB	Potencial de biogás (m <sup>3</sup> /d)	Energía eléctrica kWh (potencia eléctrica)	Energía térmica kWh (potencia térmica)	Energía eléctrica MWh al año	Energía térmica MWh al año
La Botella	1622	3617	5239	1320	1912
Vega Grande	1964	4379	6343	1598	2315
Hermanos Santos	938	2092	3030	764	1106
Guasimal	2060	4593	6653	1676	2428
<b>total</b>	<b>6584</b>	<b>14682</b>	<b>21266</b>	<b>5359</b>	<b>7762</b>
Jatibonico	733	1634	2367	597	864
Cabaiguán	861	1921	2782	701	1016
<b>Total</b>	<b>1594</b>	<b>3555</b>	<b>5149</b>	<b>1298</b>	<b>1880</b>

Mediante el procesamiento de la gallinaza como sustrato para la producción de biogás se podrían generar en SANTICAN un total de 6 656 MWh de energía eléctrica y 9 641 MWh de energía térmica al año. Estas granjas consumen carbón y gas natural para la calefacción de las aves, por lo que podría analizarse la producción de este calor con la utilización de la gallinaza como sustrato para la producción de biogás y así disminuir los costos por la adquisición de estos combustibles.

## Conclusiones

Se caracterizó la gallinaza de reemplazo y ponedora de la Industria avícola de Sancti Spiritus a través de los parámetros físico-químicos, presentando pH superiores al rango óptimo para la DA (8,07 y 8,84 respectivamente). Los sólidos totales fueron de 91,53 % y 61,91 % mientras que los volátiles fueron de 44,20 % y 43,09 %, respectivamente. Estos valores permitirán un buen desarrollo y actividad de los microorganismos para la producción de biogás, así como el buen funcionamiento de los equipos. Las concentraciones de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> fueron de 254 y 422 g/kg, respectivamente. Con la caracterización realizada se obtuvieron datos reales de la gallinaza espirituana que pueden ser utilizados para futuros análisis. Por último, se concluye que, con el potencial eléctrico de la gallinaza pudieran satisfacerse partes de las demandas eléctricas y térmicas de cada UEB, lo que representa un ahorro de más de 6 000 MWh en combustibles fósiles para el país.

## Referencias bibliográficas

1. M. Weithäuser, f.S., Fischer, j. Grope, t. Weidele, h. Gattermann, "Guía sobre el Biogás, desde la producción hasta el uso". *FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit: Gülzow*, 2013, 122-148. ISBN: 3-00-014333-5
2. González, A., Cuadros, F., Celma, A. R., & Rodríguez, F. L. "Environmental and energetic benefits derived from the anaerobic digestion of agroindustrial wastes". *International Journal of Global Warming*. 2012, **4**(3-4), 407. doi:10.1504/ijgw.2012.049437

3. Zinder, S.H., Physiological Ecology of Methanogens. *ed. Methanogenesis Ecology, Physiology, Biochemistry and Genetics*, 1993, 128-206. Editorial Springer, Boston, MA. ISBN: 978-1-4615-2391-8
4. Estrada P., M.M., "Manejo y procesamiento de la gallinaza". *Revista La sallista de investigación*. 2005, **2**(1), 43-48. ISSN: 1794-4449
5. Suárez-Hernández, J., *et al.*, *Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba*. Pastos y Forrajes. 2018, **41**(2), 85-92. ISSN: 2078-8452
6. APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, in *American Water Works Association, Water Environment Federation and American Public Health Association*. 2012, American Public Health Association: Washington D.C. ISBN: 9780875532875
7. Skoog, D.A.W., Donald. M., *Introducción a la Química Analítica*, *ed. Reverte*. 2002, Barcelona, España. ISBN: 84-291-7511-3
8. Olaya, Y., *Fundamentos para el diseño de biodigestores*, Tesis de Maestría, *Facultad de Ingeniería y Administración.*, Universidad Nacional de Colombia. 2009, 2-32, Colombia.
9. Nzila C, Dewulf J, Spanjers H, *et al.*, Biowaste energy potential in Kenya. *Renew Energy*. 2010, **35**, 2698–2704. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.016>
10. Varnero, M.T., *Manual de biogás*, *FAO: Santiago, Chile. Proyecto CHI/00/G32* “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. 2011, 27-48. ISBN 978-95-306892-0
11. CINSET, “En paz con la naturaleza. Diagnóstico de la corporación para la investigación socioeconómica y tecnológica de Colombia”. *Revista Avicultores*. 1998,**41**, 24 -27.
12. Odales- Bernal, L., Schulz, R. K., López González, L., & Barrera, E. L.. Review: Biorefineries at poultry farms: a perspective for sustainable development. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2020, 1-14. <https://doi.org/10.1002/jctb.6609>

13. Barrera Sanchez, G.A., Manobanda Lisituña, M. F., Estudio del potencial energético de residuos procedentes de la industria avícola a partir de digestión anaerobia, Tesis de Maestría. 2019, Escuela politécnica nacional: Quito, Ecuador.
14. Dalkilic, K., Ugurlu, A., Biogas production from chicken manure at different organic loading rates in a mesophilic-thermophilic two stage anaerobic system. *J. Biosci. Bioeng.* 2015, **120** (3), 315–322. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.01.021>
15. Nie, H., Jacobi, H. F., Strach, K., Xu, C., Zhou, H., & Liebetrau, J., Mono-fermentation of chicken manure: Ammonia inhibition and recirculation of the digestate. *Bioresource technology*, 2015, **178**, 238-246. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.029>
16. Wua, S., Ni, P., Li, J., Sun, H., Wang, Y., Luo, H., Integrated approach to sustain biogas production in anaerobic digestion of chicken manure under recycled utilization of liquid digestate: Dynamics of ammonium accumulation and mitigation control. *Bioresource technology*. 2016, **205**, 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.021>
17. Kalia, V.C., Purohit, H. J., Microbial diversity and genomics in aid of bioenergy. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2008, **35**(5), 403-419. <https://doi.org/10.1007/s10295-007-0300-y>
18. Lee Ch., K.J., Gu Shin S. G., Hwang S. , Monitoring bacterial and archaeal community shifts in a mesophilic anaerobic batch reactor treating a high-strength organic wastewater. *FEMS Microbiology Ecology*, 2008, **65**(3), 544-554. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00530.x>
19. Li K, L.R., Yu Q, Ma R., Removal of nitrogen from chicken manure anaerobic digestion for enhanced biomethanization. *Fuel*. 2018, **232**, 395-404. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.05.142>
20. Sürmeli R, B.A., Çalli B., Removal and recovery of ammonia from chicken manure. *Water Science and Technology*. 2017, **75**(12), 2811-2817. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.116>

21. Chen Y., C., JJ., Creamer, KS., Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*. 2008, **99**(10), 4044-64. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057>
22. F. Martín Martín, V.S.G., Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte, Tesis de Maestría. 2004, Universitat Politècnica de Catalunya: Cataluña, España.
23. Bansal, V., V. Tumwesige, and J.U. Smith, Water for small-scale biogas digesters in sub-Saharan Africa. *GCB Bioenergy*. 2017, **9**, 339–357. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12339>

### **Conflicto de interés**

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses en el manuscrito presentado.

### **Contribución de los autores**

- Lic. Wendy L. Duharte Rodríguez: realizó los experimentos, el análisis de los resultados y escribió el artículo.
- MSc. Leyanet Odales Bernal: realizó el análisis de los resultados y revisó el artículo.
- Ing. Rozney R. Álvarez Meneses: realizó los experimentos y el análisis de los resultados.
- Dra. C. Lisbet M. López: realizó la orientación científica y fue consultante.
- Dr. C. Ernesto Luis Barrera realizó la orientación científica y metodológica y la revisión del artículo.