

# Degree of air pollution due to the effect of cattle excreta during the generation of biogas

## Grado de contaminación del aire por efecto de las excretas del ganado bovino durante la generación de biogás

Walter C. Principe-Garrampie<sup>1</sup>, Serapio A. Quillos-Ruiz<sup>1</sup>, Nelver Escalante-Espinoza<sup>1</sup>, Rubén A. Figueroa-León<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Universidad Nacional del Santa, Ancash, Perú, wprincipeg@gmail.com, s\_quillos@hotmail.com, cfpnjee@yahoo.es, rfigueroa2709@gmail.com

**Abstract-** In this research work, the degree of contamination produced by the excreta of dairy cows in a stable in the Isla Blanca sector, Pampa la Grama town center, in the town of Santa was determined. Using a home-made batch biodigester, a 20 kg sample of fresh excreta was analyzed for 45 days, calculating from the pressure data and the biodigester volume characteristics, the amount of biogas generated. The composition of this biogas was then determined by analysis, finding that 59% corresponds to CH<sub>4</sub>, 38.5% to CO<sub>2</sub> and 2.5% to other gases. From these values, the mass of methane (2.9408 g) and the mass of carbon dioxide (5.265726 g) generated by the sample were calculated. These values were mathematically generalized for the excreta accumulated during one day and then by superposition of values for all the biomass of the barn, considering the lag in degradation between the excreta from one day to the next. Finally, the concentrations of both gases considered were determined in the air of the room. The analysis was done by three different methods, which yielded relatively small concentration values, concluding that the degree of air pollution from cattle excreta is not really considerable.

**Keywords:** Bovine excreta, biomass, methane, biogas, greenhouse gases.

**Resumen-** En la presente investigación se determinó el grado de contaminación que producen las excretas de las vacas lecheras en un establo del sector Isla Blanca, centro poblado Pampa la Grama, en la localidad de Santa. Utilizando un biodigestor casero del tipo batch discontinuo, se analizó una muestra de 20 kg de excretas frescas, durante 45 días, calculando a partir de los datos de presión y las características de volumen del biodigestor, la cantidad de biogás generado.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.116>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

Se determinó luego mediante análisis, la composición de este biogás, hallándose que el 59% corresponde a CH<sub>4</sub>, el 38.5% a CO<sub>2</sub> y el 2.5% a otros gases. A partir de estos valores, se calculó la masa de metano (2.9408 g) y la masa de dióxido de carbono (5.265726 g) generados por la muestra. Estos valores fueron generalizados matemáticamente para las excretas acumuladas durante un día y luego por superposición de valores para toda la biomasa del establo, considerando el desfase en la degradación entre las excretas de un día a otro. Finalmente, se determinó las concentraciones de ambos gases considerados, en el aire del recinto. El análisis se hizo por tres métodos diferentes, los cuales arrojaron valores de concentraciones relativamente pequeños, concluyendo que el grado de contaminación del aire por las excretas del ganado bovino, no es realmente considerable.

**Palabras clave:** Excretas de bovino, biomasa, metano, biogás, gases de efecto invernadero.

### I. INTRODUCCIÓN

Se ha realizado un importante número de investigaciones relacionadas a la generación de biogás, teniendo como materia prima las excretas del ganado vacuno o bovino. Como punto de partida se establece que la cantidad de estiércol depende específicamente del tipo de animal, edad y tamaño promedio, a partir de allí se puede estimar la cantidad de biogás, cuya producción en m<sup>3</sup>/día va de 0.16 en terneros hasta 0.6 en bovinos grandes, por otro lado, considerando un 50% en volumen de CH<sub>4</sub>, se dejaría de arrojar a la atmósfera un estimado de 872,694 CO<sub>2</sub>eq anual [1].

Posteriormente, se desarrolló un biodigestor casero como alternativa para generación de biogás empleando estiércol de bovino, concluyendo que con 1 kg de estiércol es posible obtener 0.038 m<sup>3</sup> en volumen de biogás en un día, tomando en cuenta una temperatura ambiente promedio de 40 °C [2].

Años más tarde se implementó un biodigestor anaeróbico a partir de las excretas de ganado vacuno para la obtención de biogás en una hacienda, permitiendo reducir en un 15% la contaminación ambiental, siendo la cantidad de metano de 730 ppm aproximadamente [3]. Finalmente se cuantificó la emisión de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en excretas de bovinos de raza CLT alimentados con diferentes porcentajes de proteína cruda (PC), concluyendo que éste tiene una relación directa en la emisión de N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, pero no en la emisión de NH<sub>3</sub>. El tratamiento con 12% de PC mostró la mayor emisión de N<sub>2</sub>O, luego con el 14 y 16% de PC se obtuvo menor emisión de N<sub>2</sub>O, pero mayores cantidades de emisión de CO<sub>2</sub> [4].

Cabe resaltar que a la fecha no se ha encontrado un estudio exclusivo que mida la influencia del gas generado por las excretas de ganado bovino, en la calidad del aire del medio adyacente, sabiendo que la mezcla de excretas y orina producen el lodo que genera específicamente los gases metano y dióxido de carbono analizado en este trabajo. Se sabe que los dos GEI principales son el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> y que una buena parte de ellos son producidos por la fermentación natural de materia orgánica.

### A. Conceptos principales

#### A.1. Biogás

Es un gas que contiene principalmente CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> producido por digestión anaeróbica (ausencia de oxígeno molecular) en la materia orgánica, su composición varía de acuerdo a la biomasa procesada, según la TABLA I.

TABLA I  
COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS

Componentes	Concentración por volumen (%)
Metano (CH <sub>4</sub> )	40-70
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30-60
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0-3
Hidrogeno (H <sub>2</sub> )	0-1

Fuente: [5]

El CH<sub>4</sub> es el elemento principal del biogás y tiene el mayor poder calorífico, con un valor entre 20 MJ/m<sup>3</sup> - 25 MJ/m<sup>3</sup>, en comparación con el gas natural de 33 MJ/m<sup>3</sup> - 38 MJ/m<sup>3</sup> [5] [6].

#### A.2. Características del Biodigestor

Es un reactor anaeróbico tipo batch experimental:

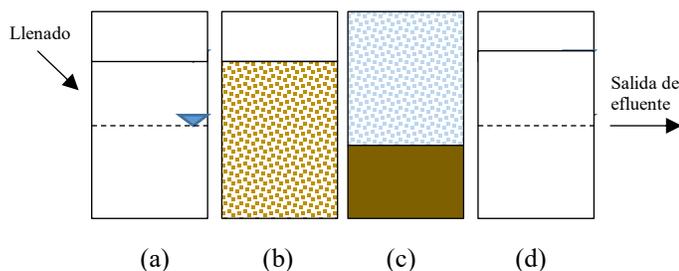


Fig. 1 Etapas de operación del biodigestor: a) Llenado, b) Reacción, c) Sedimentación y d) Descarga.

Este sistema funciona por ciclos y no en flujo continuo, donde cada ciclo de operación se divide en cuatro etapas, según la Fig. 1. En (a) se alimenta de excretas en el biodigestor, en (b) se produce la reacción, donde el tiempo es la variable para obtener un mayor grado de las excretas, (c) es la de sedimentación, aquí se detiene la agitación y la biomasa decanta, finalmente (d) es la descarga, la cual presenta ventajas porque se trabaja en lotes, garantizando así una mayor flexibilidad de trabajo en el campo [7].

#### A.3. Excretas de ganado bovino

Las excretas de ganado es la biomasa orgánica conformada por las heces y la orina, defecadas de 10 a 15 veces al día por ganado.

TABLA II  
PRODUCCIÓN PROMEDIO DE EXCRETAS DE BOVINOS POR DÍA

Tamaño	Cantidad (kg/día)
Grande	15
Mediano	10
Pequeño	8
Ternero	4

Fuente: [1]

La cantidad de excretas producidas por cabeza de bovino varía dependiendo del tamaño, sin embargo, el tiempo de estación de los animales en el corral impacta directamente en la cantidad que se puede aprovechar de ellas, la TABLA II muestra estos valores. Para el ganado vacuno, el tiempo de estación es de doce horas por día aproximadamente, lo cual implica que solo el 50% de las excretas se puede recuperar [1].

#### A.4. Producción de biogás

Se da mediante un proceso de descomposición anaeróbica de las excretas, pasando por las siguientes fases: hidrólisis por bacterias fermentativas, Acidogénesis y Acetogénesis, para finalmente formarse el metano en la etapa de Metanogénesis.

TABLA III  
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS UNITARIA DE BOVINOS

Tamaño	Cantidad (m <sup>3</sup> /animal)
Grande	0.60
Mediano	0.40
Pequeño	0.32
Ternero	0.16

Fuente: [1]

La producción del biogás obedecerá al tamaño y especie del animal sin tomar en cuenta la temperatura promedio anual ni la eficiencia de reacción, según la TABLA III [1].

#### A.5. Contaminación ambiental

Ocurre debido a la presencia de cualquier agente (físico, químico o biológico) o combinaciones de estos, en lugares, formas y concentraciones tales que sean nocivos para la salud, la seguridad, el bienestar de la población y la vida en general.

Las actividades agropecuarias contribuyen a las emisiones antropogénicas del CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y otros gases en bajos porcentajes a la atmósfera, donde el CH<sub>4</sub> es más potente en 21 a 23 veces al CO<sub>2</sub>. Atribuyéndose como GEI (Gas de efecto invernadero) con un mayor aporte al calentamiento global [8] [9].

### B. Parámetros de medición

La medición en el biodigestor experimental para determinar los porcentajes en volumen del CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y otros gases en partes por millón (ppm), se realiza por procesos de 45 días, los resultados se obtuvieron a partir de tres métodos analíticos a fin de darle consistencia a tales resultados experimentales.

#### B.1. Modelo de la celda fija estacionaria asumida (método 1)

El caso de estudio es la emisión difusa de biogás por las excretas de las vacas lecheras en el recinto del establo, para ello, se consideró la siguiente ecuación:

$$C = \frac{Q}{vHB} = \frac{Q}{vHB \cdot 86400} \quad (1)$$

Donde las concentraciones (C) del gas se da en (g/m<sup>3</sup>), Q es la producción del gas para el día 45 en (g/día), v es la velocidad del viento en m/s, H, la altura de la celda (m), B, ancho de la celda (m) y 86400 son los s/día.

#### Cálculo de la concentración en partes por millón (ppm)

Para ello se calculó el volumen que ocupa la masa de cada concentración, usando la ecuación de estado:

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (2)$$

Donde V (m<sup>3</sup>), n (mol), R, constante universal de los gases (J/kmol), T, temperatura (K) y P, presión (J/N), luego C (ppm)

#### B.2. Modelo de dispersión Gaussiano (Método 2)

Para calcular las desviaciones de los gases se usó las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \exp[I + J(\ln x) + K(\ln x)^2] \quad (3)$$

Siendo  $\sigma$ , la desviación normal de las concentraciones del gas, horizontal  $\sigma_y$  o vertical  $\sigma_z$ , en m,  $\ln x$ , logaritmo natural de la distancia x expresada en km, I, J, K contantes empíricas para las condiciones de estabilidad correspondiente a cada valor de  $\sigma$ , según el caso seleccionado [10].

Posteriormente, para hallar la concentración de los contaminantes en la dirección del viento x, se tiene en cuenta que, por el método de la celda estacionaria fija, los valores de las concentraciones son realmente pequeñas, por lo que interesa conocer sus valores máximos y esto ocurre a nivel del suelo. Para ello se asumen 2 casos particulares del modelo Gaussiano en 2D, para Z = 0, Y = 5 m y Z = 0, Y = 0.

Concentración a nivel del suelo, porque es allí donde se encuentran las personas encargadas del establo: Z=0m, Y=5m.

$$C = \frac{Q}{\pi v \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right] \quad (4)$$

Concentración a nivel del suelo y en el eje del viento, por ser el eje donde se acumula la mayor concentración: Z=0m, Y=0m.

$$C = \frac{Q}{\pi v \sigma_y \sigma_z} e^0 \quad (5)$$

La concentración C queda expresada en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [10].

#### B.3. Método alternativo para cálculo de parámetros de dispersión de fuentes puntuales (método 3)

Para ello se utilizaron las ecuaciones usadas para el modo rural, que se aproximan a las curvas de Pasquill-Gifford [11]. Aquí se tiene la posibilidad de escoger distancias menores para las CEA tipo A, D, F. Estas ecuaciones son de la forma:

$$\sigma_y = 465.11628(x)[tg(TH)] \quad (6)$$

$$TH = 0.017453293[c - d \cdot \ln x] \quad (7)$$

$$\sigma_z = ax^b \quad (8)$$

Donde los coeficientes a, b, c y d se obtuvieron de [11], luego las concentraciones se obtienen usando la ecuación (2).

## II. METODOLOGÍA

### A. Área de estudio

La muestra se tomó de un establo ubicado en la provincia del Santa, Perú, sector Isla Blanca, centro poblado Pampa la Grama, distrito de Santa, Ancash, con una población de 32 vacas lecheras que ocupan un área de 1200 m<sup>2</sup> aproximadamente, pero la zona de forrajeo y en donde se generan las excretas es de 40x12 m, es importante mencionar que la zona donde se encuentra ubicado el establo es una zona agrícola básicamente arrocera. Ver Fig. 2.



Fig. 2 Establo Isla Blanca.

### B. Características del Biodigestor experimental

Se usó un biodigestor discontinuo casero tipo Batch, construido con un cilindro de aceite industrial, tal como el que se muestra en la Fig. 3, con las siguientes características:

- Volumen cilindro. ( $V_{cil}$ ): 57.66 gal = 218.3 L = 0.2183 m<sup>3</sup>
- Diámetro ( $\phi_c$ ): 585 mm
- Altura ( $h_c$ ): 891 mm
- Manómetro analógico de baja presión, tipo reloj de 0-30" H<sub>2</sub>O
- Válvula de bola de cierre rápido ½" Ø
- Espesor del cilindro (e): 0.9 mm
- Material: Acero al carbono

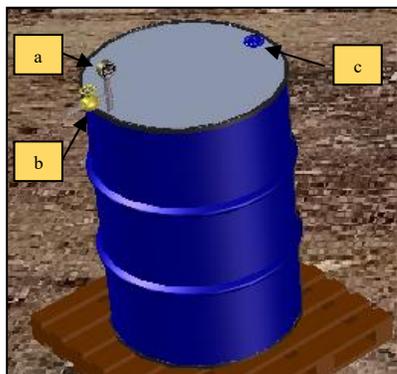


Fig. 3 Biodigestor instalado en el establo: a) Manómetro, b) Válvula para la toma de muestra y c) entrada de excretas y agua.

La siguiente fórmula propuesta calcula la evolución del proceso productivo de CH<sub>4</sub> en el biodigestor experimental.

$$P_{CH_4} = \frac{V_{CH_4}}{V_{reactor} \cdot t} \quad (9)$$

Donde,  $P_{CH_4}$  es la producción,  $V_{CH_4}$ , volumen generado,  $V_{reactor}$ , volumen de materia dispuesta en el recinto fermentador,  $t$ , tiempo considerado.

### C. Instrumentos utilizados

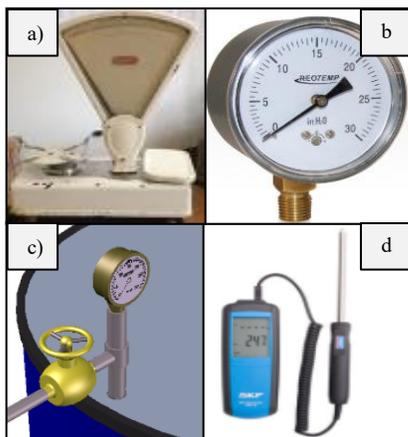


Fig. 4 Instrumentos: a) Balanza para el peso de excretas, b) Manómetro de baja presión analógico de tubo bourdon c) Biodigestor discontinuo tipo Batch y d) termómetro digital de contacto.

El volumen del biogás producido, se analizó en el Cromatógrafo de Gases de marca Perkin Elmer y modelo Clarus 500.

### D. Levantamiento de información

En el establo Isla Blanca la población fue de 32 vacas y se tomó como muestra en forma aleatoria a 4 vacas, para luego pesar las excretas frescas (ver Fig. 5) de cada vaca/día, este proceso se repitió durante 3 días alternativos, después del pesaje del tercer día se calculó el promedio ponderado de las cuatro vacas, el cual se tomó como el valor representativo de la deposición diaria por animal. Esta medición se hizo con una balanza de aguja, ver Fig. 4a. y el resultado se muestra en la TABLA IV, al biodigestor se alimento de 20 kg de excretas para la fermentación anaeróbica.

TABLA IV  
PROMEDIO DE EXCRETAS POR VACUNO/DÍA

Vacuno	Excretas			
	Día 1 (kg)	Día 2 (kg)	Día 3 (kg)	Promedio
1	17.50	16.40	18.20	17.37
2	18.60	19.20	17.80	18.53
3	18.20	17.90	18.90	18.33
4	17.90	17.30	19.10	18.10
Promedio diario/vaca establo (kg/día)				18.08

Para calcular la densidad y el volumen de la muestra se utilizó un recipiente cilíndrico de 39 cm de diámetro interior y 40 cm de altura. Llenamos agua hasta la mitad del recipiente y vaciamos 10 kg de excretas frescas, observando que el nivel de agua subió 10.10 cm, por tanto:

Volumen excretas:

$$V_{exc} = Area * h = \pi \left(\frac{39}{2}\right)^2 * 10.10 = 12.06537 \text{ l}$$

Luego, calculando la densidad de la muestra:

$$\rho = \frac{w}{V_{exc}} = 828.82 \frac{g}{m^3}$$

La limpieza del establo (evacuación del estiércol) se hace cada mes o mes y medio (30 - 45 días), lapso en el cual el agricultor que lo compra como guano, viene con su personal, lo coloca en sacos y se lo lleva. Por ello se establece 45 días como límite de las mediciones por la evacuación de las excretas en el establo. La cantidad acumulada en ese lapso fue:

Peso excretas acumuladas al día

$$P_{exc \text{ día}} = P_{promedio} * N_{vacunos} = 18.08 * 32 = 578.56 \text{ kg}$$

Peso excretas acumuladas en 45 días

$$P_{exc} = \frac{Peso}{día} * número \text{ días} = 578.56 * 45 = 26035.20 \text{ kg}$$

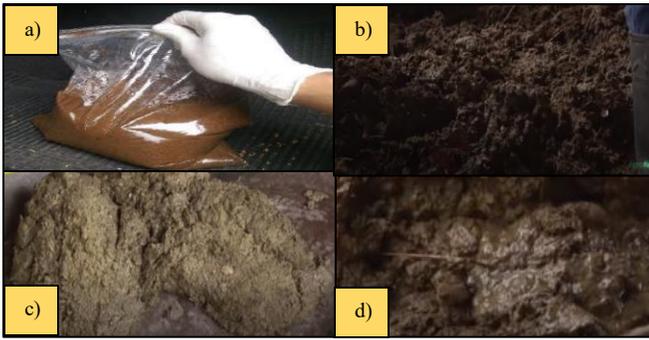


Fig. 5: a) Excretas con orina, b), c) y d) Excretas seleccionadas.

### III. RESULTADOS

De acuerdo al análisis del gas generado en el biodigestor, se determinó que el 59% del volumen corresponde al  $CH_4$ , el 38.5% a  $CO_2$  y el 2.5% a otros gases. Para determinar el volumen de los gases en estudio, a condiciones normales ( $25^\circ C$ , 1.013 bar) conociendo sus masas, se usó el valor de sus densidades a esa condición.

$$\rho_{CH_4} = 0.656 \text{ Kg/m}^3 = 0.656 \text{ g/L}$$

$$\rho_{CO_2} = 1.976 \text{ kg/m}^3 = 1.976 \text{ g/L}$$

Luego:

$$V_{CH_4} = \frac{Masa_{CH_4}}{\rho_{CH_4}} = \frac{2.9408 \text{ g}}{0.656 \frac{\text{g}}{\text{L}}} = 4.4829 \text{ L}$$

$$V_{CO_2} = \frac{Masa_{CO_2}}{\rho_{CO_2}} = \frac{5.265726 \text{ g}}{1.976 \frac{\text{g}}{\text{L}}} = 2.6648 \text{ L}$$

El biodigestor Batch se utilizó para determinar la generación de gas con una muestra de 20 kg de excretas, durante 45 días, pero el establo está compuesto por 32 vacas que producen 578.56 kg/día, entonces la generación de gas por día se calculó generalizando la producción de la muestra. En la Fig. 6, se muestran los resultados del cálculo de las masas de  $CH_4$  y  $CO_2$  generadas en el establo por las excretas acumuladas.

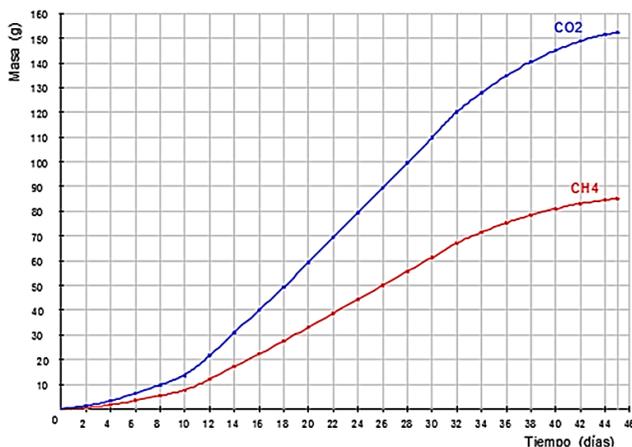


Fig. 6 Evolución diaria de la generación de masa de  $CH_4$  y  $CO_2$  por las excretas acumuladas.

Se calculó, además, la evolución de la generación real de gases de  $CH_4$  y  $CO_2$ , las cuales diariamente se fueron acumulando hasta el día 45, justo antes de su evacuación. En realidad 578.56 kg de excretas son producidas todos los días por las 32 vacas, por tanto, estos se van acumulando y cada día se tendrá una mayor cantidad de excretas que producen gas, pero estarán desfasadas en sus etapas de fermentación, considerando las frescas con las que se van envejeciendo respecto a su producción, esto sucederá hasta el momento de la limpieza y/o evacuación de las mismas en el establo, por tanto, las curvas de generación de gas de las excretas diarias se van superponiendo, en las Fig. 7 y 8, se observa la evolución de este incremento.

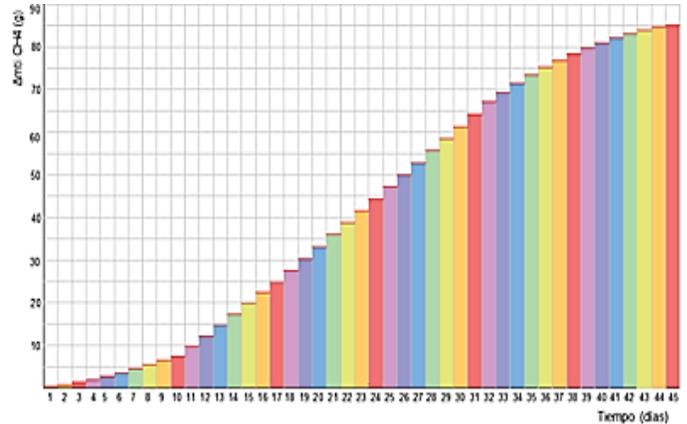


Fig. 7 Diferenciales de masa de  $CH_4$  generada diariamente en el establo.

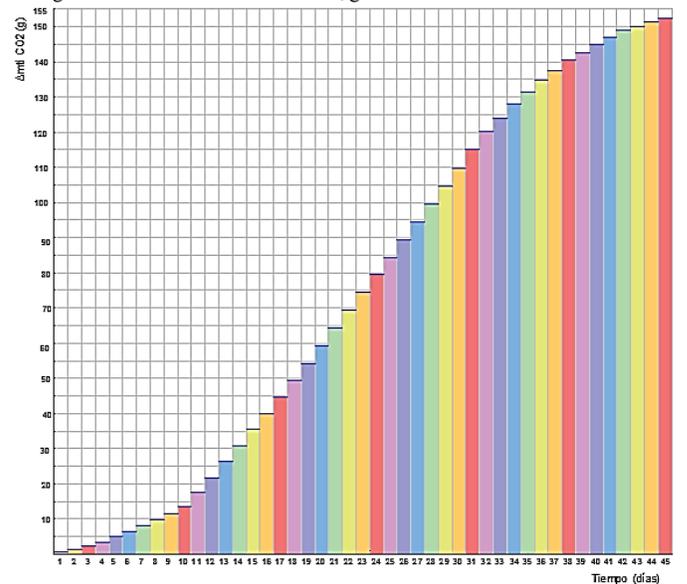


Fig. 8 Diferenciales de masa de  $CO_2$  generada diariamente en el establo.

Estos valores acumulados, consideran la masa total de los gases generados, haciendo una similitud con la muestra donde el biogás se almacena en el biodigestor, es importante indicar que en el establo estos gases no se acumulan y diariamente se difunden en el medio por lo cual se debe hallar la generación día por día y determinar en qué momento se genera la mayor cantidad, superponiendo las curvas de las excretas.

TABLA V  
CONCENTRACIONES MÁXIMAS CALCULADAS Y LÍMITES  
PERMISIBLES

Método de cálculo	C <sub>CH<sub>4</sub></sub> (ppm)	C <sub>CO<sub>2</sub></sub> (ppm)
<b>Método 1</b> <i>Celda estacionaria</i>	0.0142147	0.009277
<b>Método 2</b> <i>Dispersión Gaussiana</i> <i>Z = 0m, Y = 5m</i>	0.03107	0.020276
<b>Método 2</b> <i>Dispersión Gaussiana</i> <i>Z = 0m, Y = 0m</i>	0.114391	0.074652
<b>Método 3</b> <i>Alternativo/rural</i> <i>Z = 0m, Y = 5m</i>	0.013478	0.008796
<b>Método 3</b> <i>Alternativo/rural</i> <i>Z = 0m, Y = 0m</i>	0.040819	0.026638
<b>Referencias</b> <i>En minería</i>	5000	5000
<b>Referencias</b> <i>Zona urbana</i>	No hay límite establecido	550/3000

En la TABLA V, se muestran los resultados de las concentraciones máximas en el establo, de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en ppm calculados por los tres métodos utilizado, pudiéndose apreciar que son valores muy pequeños y difieren en centésimas de un método a otro, así también se muestran los límites permisibles según la legislación ambiental en el Perú.

- El método de la celda fija estacionaria, expresa resultados para cada tiempo de cálculo, dando un resultado homogéneo para toda la celda (independiente de la posición dentro de ella) de acuerdo a la cantidad de gas que se tenga en el momento del cálculo. Los resultados se expresan para el día 45 en donde tenemos la máxima producción de gas en el establo.
- El método de distribución Gaussiana, ha sido adaptado para nuestro caso, eliminando la altura de emisión de gases para que la dispersión empiece desde la fuente de emisión y a nivel del suelo (Z=0m), encontrando valores aceptables y válidos en comparación con los otros métodos. Este método considera las variaciones de las concentraciones, dependiendo del punto de cálculo dentro del establo y del momento realizado.
- El método alternativo es en realidad la distribución Gaussiana pero utilizada para zonas rurales, donde se ha variado la forma de cálculo de las desviaciones  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ . Aquí también la concentración depende del punto del establo considerado y del tiempo en que se calcula.

Finalmente, si en el establo la masa de excretas siguiera acumulándose más allá del día 45 (sin evacuación), el biogás generado seguiría en aumento hasta que las curvas de generación del estiércol viejo (en decadencia) y el estiércol fresco (en aumento) se equilibren en un valor constante en el tiempo, tal como se muestra en la Fig. 9.

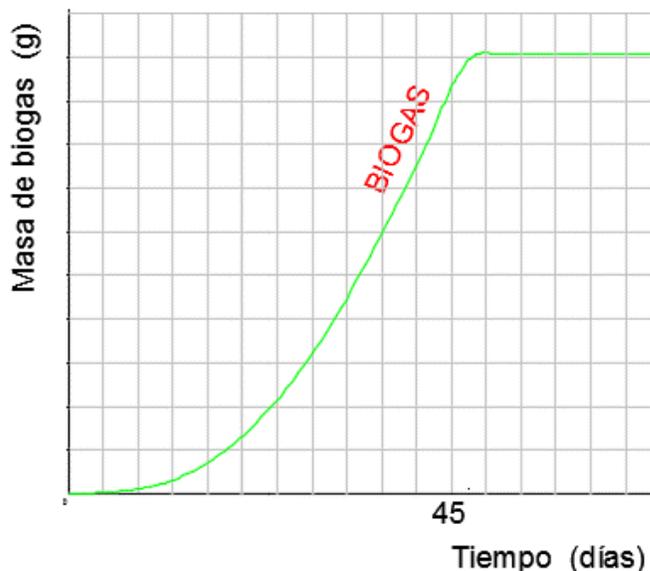


Fig. 9 Tendencia de la generación de biogás en el establo.

#### IV. DISCUSIÓN

De acuerdo a la bibliografía revisada, se indica que un kg de estiércol vacuno puede producir entre 37 a 170 ml de CH<sub>4</sub>, durante un periodo de 10 a 18 días, en este caso fue de 224 ml en 45 días, lo que puede considerarse despreciable, si se tiene en cuenta los 250 a 300 litros/día que puede producir una vaca como producto de su digestión.

La cantidad de estiércol depende específicamente del tipo de animal, edad y tamaño promedio, a partir de allí se puede estimar la cantidad de biogás, tal es así que considerando un 50% en volumen de CH<sub>4</sub>, se dejaría de arrojar a la atmósfera un estimado de 872,694 CO<sub>2</sub>eq anual [1], en la presente investigación, la composición del biogás fue de 59% de CH<sub>4</sub>, equivalente a 0.224145 l en 45 días.

Se desarrolló un biodigestor casero como alternativa para generación de biogás, concluyendo que con 1 kg de estiércol es posible obtener 0.038 m<sup>3</sup> de biogás en un día, tomando en cuenta una temperatura ambiente promedio de 40 °C [2]., en el presente trabajo de investigación se usó un biodigestor discontinuo casero tipo Batch, donde en 45 días y con una muestra de 20 kg de excretas, se pudo generar 0.0071477 m<sup>3</sup>, considerando una temperatura promedio de 25°C.

Es importante mencionar que colindante al establo de estudio, existen otros cuyas excretas, por analogía deben generar concentraciones de gases similares a los calculados, dependiendo de la cantidad de animales que posean. Esto no implica que la calidad del aire de la zona sea una sumatoria de las contaminaciones circundantes, puesto que el análisis se realiza para cada zona específica. La cantidad de gas producida por las excretas es tan pequeña que, a poca distancia del centro de generación, las concentraciones son despreciables.

## V. CONCLUSIONES

La fermentación anaeróbica de 20 kg de excretas de ganado bovino en 45 días produjo 59% de CH<sub>4</sub>, 38,5% de CO<sub>2</sub> y 2,5% de otros gases, ocasionando concentraciones muy pequeñas de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en el aire del establo, incluso menor a los gases emitidos por los eructos y flatulencias de las mismas vacas, generando un impacto despreciable si se compara con los límites permisibles a los cuales se puede exponer el hombre que es de 5000 ppm.

La concentración normal de CO<sub>2</sub> en el medio ambiente está entre 300 y 400 ppm, pudiendo alcanzar en zonas urbanas hasta 550 ppm, pero para volúmenes ambientales muy grandes, por otro lado, las concentraciones calculadas en el presente trabajo de investigación fueron menores a 0.114391 ppm solamente en el volumen ambiental del establo que es un volumen comparativo muy pequeño, por tanto, la alteración de la calidad del aire por CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> generado por las excretas de las vacas es muy bajo.

La influencia de las excretas de las vacas en el establo es baja y despreciable, sin embargo, se debe tener en cuenta puesto que la generación de gases de efecto invernadero es constante y mucho mayor a las cantidades utilizadas para calcular las concentraciones acumulativas en la atmósfera, en el tiempo. Cabe indicar que, en el establo, las masas y volúmenes de gases generados no tienen un valor constante y van en aumento de acuerdo a la cantidad de excretas que se acumulan cada día.

Finalmente, se puede concluir que la mejor forma de reducir las emisiones de metano es mejorando el nivel nutricional del ganado, para ello es recomendable instruir al ganadero de tal modo que se garantice una producción animal sostenible y contribuir así a una efectiva disminución del efecto invernadero, asimismo la evacuación y limpieza inmediata de estiércol de los establos, disminuirá la generación de estos gases.

## VI. AGRADECIMIENTOS

A la analista Claudia Domínguez Izquierdo de la empresa SiderPerú, por su apoyo a través del laboratorio de materiales, para la obtención de los datos, así también al dueño del establo Isla Blanca por la cooperación y apoyo para realizar la presente investigación.

## VII. REFERENCIAS

- [1] I. Vera-Romero, M. Estrada-Jaramillo, J. Martínez-Reyes y A. Ortiz-Solano, "Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino", *Ingeniería Investigación y tecnología*, vol. 15, no. 3, pp. 429-436, Julio-Setiembre 2014.
- [2] A. Cruz, "Desarrollo de un biodigestor casero como alternativa para generación de biogás empleando estiércol bovino", Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2014.
- [3] K.G. Chicaiza y M.D. Puentestar, "Implementación de un biodigestor anaeróbico a partir de las excretas de ganado vacuno para la obtención de biogás para su utilización como gas doméstico en la hacienda Santa Inés, provincia de Pichincha, Cantón Mejía, Latacunga, Ecuador, 2018.
- [4] N. Hernández, J. Salinas, V. Saynes, J.M. Ayala, F. Hernández y J. Velasco, "Emisión de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> a partir de estiércol de bovinos con diferente porcentaje de proteína cruda en la dieta", *Rev. Int. Contam. Ambie.* 35 (3) 597-608, 2019.
- [5] J.L. Magaña R, E. Torres R, M.T. Martínez G, C. Sandoval Juárez y R. Hernández Cantero, "Producción de Biogás a Nivel Laboratorio Utilizando Estiércol de cabras", *Acta Universitaria*, Vol. 16, no. 2, Mayo-Agosto 2006.
- [6] J.C. Doroteo Otlica, "Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno de un establo ubicado en Ixtapaluca estado de México. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Z, Área Disciplinaria: Ambiental, Recuperado de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5606/1/Juan%20Carlos%20Doroteo%20Otlica.pdf>
- [7] MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, "Manual del Biogás", Recuperado de [https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/manual\\_de\\_biogas.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/manual_de_biogas.pdf)
- [8] J.C. Carmona, D.M. Bolívar, L.A. Giraldo, "El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo", *Rev Col Cienc Pec*, pp. 49-63, vol 18, no. 5, febrero 2005.
- [9] M. Martínez, "Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato", *Revista Electrónica Nova Scientia*, vol. 7, no. 3, pp. 96-115, Agosto 2015.
- [10] R.W. McMullen, "The Change of Concentration Standard Deviations with Distance", *Journal of the Air Pollution Control Association*, vol. 25, no. 10, pp. 1057-1058, 1975.
- [11] D.B. Turner: 1964, "A Diffusion Model for an Urban Area", *J. Appl. Meteor.* 3, 83-91.