



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

---

---

COMPLEJO REGIONAL CENTRO, SEDE LOS REYES DE JUÁREZ

INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

**POTENCIAL DEL EQUIPO ÓPTIMA BIOGÁS 7 PARA ESTIMAR GASES EFECTO  
INVERNADERO EN EL RUMEN**

MARGARITA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA**

Los Reyes de Juárez, Puebla, México, marzo

2024

**POTENCIAL DEL EQUIPO ÓPTIMA BIOGAS 7 PARA ESTIMAR GASES EFECTO  
INVERNADERO EN EL RUMEN**

LA PRESENTE TESIS TITULADA: **POTENCIAL DEL EQUIPO ÓPTIMA BIOGÁS 7 PARA ESTIMAR GASES EFECTO INVERNADERO EN EL RUMEN:** REALIZADA POR LA ALUMNA: MARGARITA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, HA SIDO REVISADA Y APROBADA POR EL SIGUIENTE CONSEJO PARTICULAR, PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**LICENCIADA EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA**

CONSEJO PARTICULAR INTEGRADO POR:

FIRMA

Directora: Dra. Jennifer Pérez Martínez

---

Codirector: Dr. Mario Antonio Cobos Peralta

---

Asesor: Dr. Gilberto Castillo Luna

---

Asesor: Dr. Arnulfo Pérez Vicente

---

Los Reyes de Juárez, Puebla, México, marzo 2024.

## DEDICATORIA

A mis padres, quienes siempre han creído en mí.

Gracias por su amor, por su sacrificio y por enseñarme a nunca rendirme ante los  
obstáculos de la vida.

Este logro es también suyo.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme la sabiduría, el entendimiento y la paciencia para seguir adelante y no darme por vencida.

A mis padres Margarita Rodríguez Hernández y Pedro Rodríguez Fernández, por apoyo incondicional brindado a lo largo de mi vida.

A la Dra. Jennifer Pérez Martínez gracias por su tiempo, por asesorarme por línea en la elaboración y revisión de la tesis.

Al Dr. Mario Antonio Cobos Peralta, por brindarme el permiso de trabajar en sus instalaciones para realizar los experimentos de la tesis.

A los docentes en general de la Benemérita Universidad Autónoma De Puebla, Complejo Regional Centro, Sede Los Reyes De Juárez, por brindarme una formación profesional.

## CONTENIDO

ÍNDICE	Pág
ÍNDICE DE CUADROS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>2</b>
1.2.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y GANADERÍA .....	2
1.2.2 FUENTES DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI) .....	2
1.2.3 IMPORTANCIA DE LAS EMISIONES DE .....	2
1.2.4 COMPOSICIÓN DE GASES EN EL RUMEN.....	3
1.6.5 EMISIÓN ENTÉRICA DE METANO .....	3
1.6.6 CÓMO SE MIDEN LOS GASES EFECTO INVERNADERO EN EL RUMEN .....	3
Calorimetría (cámaras abiertas, cerradas o cámaras de respiración).....	4
Uso de gases trazadores .....	4
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O).....	4
Método micro meteorológico .....	4
Equipo óptima biogás 7 descripción y calibración .....	5
1.7 BIBLIOGRAFÍA .....	6
<b>CAPÍTULO II EXPERIMENTO I .....</b>	<b>8</b>
<b>2. DESARROLLO DE LA TÉCNICA DE MEDICIÓN DE EMISIONES DE GASES ENTÉRICOS CON EL EQUIPO ÓPTIMA BIOGÁS 7, EN BOVINO CANULADO.....</b>	<b>8</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	8
2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
2.3 JUSTIFICACIÓN.....	9

2.4 OBJETIVO GENERAL .....	9
2.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
2.6 HIPÓTESIS GENERAL .....	9
2.7 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	9
2.8 MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
2.9 EQUIPO DE CAMPO .....	11
2.10 METODOLOGÍA .....	12
2.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	13
2.12 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	14
2.13 CONCLUSIÓN .....	15
2.14 BIBLIOGRAFÍA .....	16
<b>CAPITULO III EXPERIMENTO II .....</b>	<b>17</b>
<b>3. MEDICIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO EN VACAS CANULADAS CON EL EQUIPO ÓPTIMA BIOGÁS 7 .....</b>	<b>17</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	17
3.2 OBJETIVO GENERAL .....	18
3.3 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	18
3.4 HIPÓTESIS GENERAL .....	18
3.5 HIPÓTESIS ESPECIFICA .....	18
3.6 MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
3.7 METODOLOGÍA .....	20
3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	23
3.9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
3.10 CONCLUSIÓN .....	30
BIBLIOGRAFÍA .....	31

## ÍNDICE DE CUADROS

### Cuadro

Núm.	Pág.
<b>CAPITULO I</b>	
1 Características fisicoquímicas del medio ambiente ruminal.....	3
<b>CAPITULO II</b>	
2 Aporte nutricional del concentrado.....	11
3 Medición de gases con el equipo optima biogás 7 en vaca con fistula ruminal con la cánula entre abierta.....	14
4 Medición de gases con el equipo optima biogás 7 en vaca con fistula ruminal con la cánula abierta.....	14
5 Concentración de metano (CH <sub>4</sub> ) y dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), con la cánula entre abierta y abierta.....	15
<b>CAPITULO III</b>	
6 Aporte nutricional del concentrado.....	21
7 Día uno, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.....	24
8 Día uno, mediciones con el equipo optima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.....	24
9 Día dos, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.....	24
10 Día dos, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.....	25
11 Día tres, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.....	25
12 Día tres, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.....	25
13 Día cuatro, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.....	26
14 Día cuatro, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.....	26



15	Día cinco, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.....	26
16	Día cinco, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.....	27
17	Día seis, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.....	27
18	Día seis, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.....	27
19	Día siete, mediciones con el optima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.....	28
20	Día siete, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.....	28
21	Concentración de metano (CH <sub>4</sub> ) y dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en vacas canuladas antes y después de haber sido alimentadas.....	28
22	Variabilidad de la concentración de metano (CH <sub>4</sub> ) y dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) por cada vaca antes y después de haber sido alimentadas.....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig.</b>		<b>Pág.</b>
<b>Núm.</b>		
<b>CAPITULO II</b>		
1	Localización del colegio de postgraduados.....	10
2	Óptima biogás 7.....	12
3	Medición con la cánula entre abierta.....	13
4	Medición con la cánula abierta.....	13
<b>CAPITULO III</b>		
5	Tapón de la cánula con niple de espiga.....	19
6	Jeringa para extracción de gas.....	20
7	Bolsas tedlar para almacenar la muestra de biogás. ....	20
8	Extracción/gas ruminal.....	21
9	Gas ruminal almacenado (1200cc).....	21
10	Alimentación de las vacas. ....	22
11	Extracción de 0.6 ml de gas.....	22
12	Medición de las muestras.....	22

## RESUMEN

En la actualidad existe una gran inquietud por el cambio climático, debido a la producción y acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) derivado de los sistemas agropecuarios, los principales GEI responsables del aumento de la temperatura global son el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), es importante destacar que el metano generado por la fermentación entérica de los rumiantes constituye una fracción significativa de todas las emisiones antropogénicas de gases efecto invernadero. Por lo cual el objetivo de la presente investigación es determinar la precisión y exactitud del equipo óptima biogás 7 para medir las emisiones de metano entérico y dióxido de carbono en bovinos canulados. Para el análisis estadístico se utilizó un programa GLM. Las diferencias entre medias de tratamientos, se compararon con la prueba de Tukey (SAS, 2011). En el presente estudio al medir el gas metano y dióxido de carbono antes y tres horas después de la alimentación con el equipo óptima biogás 7 las concentraciones de este gas se mantuvieron sin importar el ayuno o la alimentación ( $P < 0.05$ ). Cuando se determinó la variabilidad de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  entre vacas antes de la alimentación el  $\text{CH}_4$  fue mayor en dos vacas ( $P < 0.05$ ) y disminuyó en las restantes, mientras que en el  $\text{CO}_2$  este se mantuvo elevado en cuatro vacas y solo una tuvo baja concentración ( $P < 0.05$ ). En conclusión, en vacas canuladas el ayuno y la medición 3 h después de la alimentación no cambia la concentración de los gases metano y dióxido de carbono con el equipo óptima biogás 7. Entre vacas el ayuno influye en la concentración de gas metano y dióxido de carbono, sin embargo, cuando estas consumen alimento la producción de estos gases no se modifican.

**Palabras clave:** metano, dióxido de carbono, bovinos, cánula, alimentación.

## **ABSTRACT**

Currently there is great concern about climate change, due to the production and accumulation of greenhouse gases (GHG) derived from agricultural systems, the main GHG responsible for the increase in global temperature are nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), it is important to highlight that methane generated by enteric fermentation of ruminants constitutes a significant fraction of all anthropogenic greenhouse gas emissions. Therefore, the objective of this research is to determine the precision and accuracy of the optimal biogas 7 equipment to measure enteric methane and carbon dioxide emissions in cannulated cattle. A GLM program was used for statistical analysis. The differences between treatment means were compared with the Tukey test (SAS, 2011). In the present study, when measuring methane gas and carbon dioxide before and three hours after feeding with the optima biogas 7 equipment, the concentrations of this gas were maintained regardless of fasting or fasting feeding (P<0.05). When the variability of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> was determined between cows before feeding, CH<sub>4</sub> was higher in two cows (P<0.05) and decreased in the remaining ones, while CO<sub>2</sub> remained high in four cows and only one had a low concentration (P<0.05). In conclusion, in cannulated cows, fasting and measuring 3 h after feeding does not change the concentration of methane and carbon dioxide gases with the optima biogas 7 equipment. Among cows, fasting influences the concentration of methane gas and carbon dioxide, however, when they consume food the production of these gases does not change.

**Keywords:** methane, carbon dioxide, bovine, cannula, feeding.

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El clima nunca es estático, ya que presenta fluctuaciones cíclicas anuales y de mayor periodicidad, así como variaciones ocasionales debidas a fenómenos naturales. El uso más apropiado y convencional del término “cambio climático” es para descubrir el cambio significativo que se presenta en la actualidad y que no se relaciona con las variaciones cíclicas. Este es provocado por el calentamiento global que a su vez tiene su origen en el aumento de gases de invernadero en la atmósfera, lo que incide sobre los patrones de temperatura y precipitación del planeta, así como la frecuencia de fenómenos naturales como puede ser huracanes y tormentas (Gonzalez *et al.*, 2003).

Las acciones humanas favorecen a la crisis climática emitiendo gases de efecto invernadero (GEI) la atmósfera. De acuerdo con la FAO (2009), las actividades agropecuarias contribuyen en un 18% de los gases GEI de origen antropogénico emitidos a la atmósfera. Según la FAO (2009), teniendo en consideración todos los sistemas pecuarios, el ganado genera un 9% de las emisiones de dióxido de carbono, del cual el 37% pertenece a las emisiones de metano y 65% a las emisiones de óxido nitroso (Saiz, 2010).

La medición de la emisión de gases de efecto invernadero es altamente relevante en la valoración del impacto ambiental de los sistemas agropecuarios, el metano producido por la fermentación entérica de los rumiantes representa una parte importante de todas las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. El metano es un producto metabólico final del proceso digestivo de los rumiantes, donde las arqueas metanogénicas presentes en el rumen usan el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrógeno (H<sub>2</sub>) que se originan a partir de la fermentación microbiana de la fibra de las plantas, para crear metano y reducir la acumulación de H<sub>2</sub> en el rumen. Este se elimina a través de los pulmones o el eructo (Benaouda, 2017).

La producción de metano (CH<sub>4</sub>) en los rumiantes está influenciada por factores como consumo de alimento, composición de la dieta, digestibilidad del alimento, procesamiento previo del alimento y frecuencia de alimentación (Boadi, 2004).

## **CAPITULO I**

### **1.2 MARCO TEÓRICO**

#### **1.2.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y GANADERÍA**

Las emisiones de gases de efecto invernadero han incrementado desde la era preindustrial y se han descubierto concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, de las cuales la sección ganadera incide de manera importante, con emisiones estimadas en 7.1 gigatón de dióxido de carbono equivalente por año, lo cual representa el 14.5% de las emisiones antropogénicas (Gerber *et al.*, 2013).

#### **1.2.2 FUENTES DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI)**

El CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> son gases de efecto invernadero, por su contribución total al cambio climático. Aunque el CH<sub>4</sub> permanece menos tiempo en la atmósfera que el CO<sub>2</sub>, contribuye a la formación de ozono troposférico, un contaminante atmosférico local que causa graves problemas de salud. Aproximadamente el 41% de las emisiones a nivel mundial de metano provienen de fuentes naturales (biogénicas), como los humedales o los incendios forestales, mientras que el 59% proviene de emisiones antropogénicas, cuyas fuentes importantes son la agricultura (40-53%), la producción, el uso de combustibles fósiles (19-30%) y los residuos (20-26%) (AEI, 2018).

#### **1.2.3 IMPORTANCIA DE LAS EMISIONES DE (GEI) EN RUMIANTES**

El metano emitido en el sector ganadero se debe principalmente a la fermentación microbiana del alimento que llega al rumen, este proceso metabólico contiene diferentes rutas metabólicas anaerobias, como la producción de acetato, propionato y butirato a partir de piruvato y la interacción de diferentes microorganismos anaerobios del rumen (Cobos, 2007). La fabricación de metano se realiza exclusivamente por arqueas metanogénicas, principalmente la especie *Methanobrevibacter ruminantium*; posteriormente las emisiones de metano son expulsadas al medio ambiente mediante el eructo, es importante mencionar que la expulsión de este gas es vía respiratoria y una cantidad mínima se expulsa vía rectal (Cobos y Shimada, 2015).

## 1.2.4 COMPOSICIÓN DE GASES EN EL RUMEN

En el Cuadro 1, se muestran las características fisicoquímicas del medio ambiente ruminal, así como la composición de los gases que se encuentran en el rumen.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del medio ambiente ruminal.

	mínimo	máximo
pH	6.1	7.2
Temperatura (°C)	38	40.5
Potencial de oxidorreducción (mV)	-250	-450
Osmolaridad (mOsm/kg)	260	340
Contenido de materia seca (%)	9	18
Gravedad específica (densidad relativa)	0.86	1.21
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mmol/L)	80	92
Lactato (mmol/L)	7	9
<b>Dióxido de carbono</b>	<b>65</b>	<b>70</b>
<b>Metano</b>	<b>27</b>	<b>30</b>
Nitrógeno		7
Oxígeno		<0.6
Hidrógeno		<0.2
Sulfatos		<0.01
Acetato	66	70
Propionato	20	25
Butirato	15	20
Isobutirato, 2-metilbutirato, isovalerato y valerato	2	5
Totales	98	120

Fuente: Cobos y Shimada (2015).

## 1.6.5 EMISIÓN ENTÉRICA DE METANO

La cantidad emitida de CH<sub>4</sub> depende del tipo de alimentación del ganado, así como, del manejo que se realice en las ganaderías. Las investigaciones que implican las interacciones entre el ganado, las plantas, la microbiota ruminal y estrategias alimenticias con distintos ingredientes, son difíciles de llevarse a cabo, pero pueden ofrecer una solución para la disminución de emisiones de metano de los rumiantes (Broucek, 2018).

## 1.6.6 CÓMO SE MIDEN LOS GASES EFECTO INVERNADERO EN EL RUMEN

A fin de ampliar estrategias para mitigar las emisiones de CH<sub>4</sub> por el ganado, debe ser posible cuantificarlas. Las técnicas para la determinación del CH<sub>4</sub> comprenden: espectroscopia infrarroja, cromatografía de gases, espectroscopia de masa y técnicas

de rayo láser (Johnson, 1995). En experimentos para medir las emisiones de gases en los rumiantes se han utilizado algunas de las siguientes metodologías e instalaciones:

### **Calorimetría (cámaras abiertas, cerradas o cámaras de respiración)**

La producción de CH<sub>4</sub>, se ha medido en circuitos cerrados desde hace más de cuatro décadas (Kelly, 1994). También se han construido cámaras rústicas para pequeños rumiantes, donde utilizaron materiales de uso común, en las que los investigadores encontraron diferencias en la producción de CH<sub>4</sub> debido a la dieta (Abdalla, 2007).

### **Uso de gases trazadores**

Esta técnica se basa en que en el rumen con ayuda de un tubo pre calibrado se libera una cantidad conocida del gas trazador hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) y posteriormente se mide la relación de este gas en aire expirado por los animales. Esta técnica está asociada a mayor variación que las técnicas calorimétricas estandarizadas (Pinares, 2008).

### **Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)**

El N<sub>2</sub>O se usa como trazador, el cual es liberado a una tasa conocida (aproximadamente 10 g h<sup>-1</sup> de cada contenedor). La tasa de emisión de CH<sub>4</sub> de los animales se funda a partir de la relación de la concentración de CH<sub>4</sub> y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Este método es capaz de cuantificar a la vez ambos gases en la corriente de aire (Tonini, 2007).

### **Método micro meteorológico**

Estos métodos son costosos, ya que requieren de una mayor cantidad de equipo para calcular la difusividad vertical y horizontal de los gases. Se ha descrito una técnica nueva a cielo abierto nombrada espectroscopia infrarroja transformada Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés), la cual consiste en que cada animal lleva un pequeño contenedor con N<sub>2</sub>O, fijado en un collar, lo cual implica el uso de un método trazador (Tonini, 2007).



## **Equipo óptima biogás 7 descripción y calibración**

El analizador extrae una muestra de los gases de combustión del conducto para lo cual usa una bomba de gas incorporada a través de la sonda, se limpia y seca al usar un separador de condensado con filtro incorporado y analiza el gas extraído con sensores electroquímicos. La corriente y la temperatura se miden en la punta de la sonda de muestreo (Anónimo, 2021).

Principio de medición electroquímica. El contenido de oxígeno del gas de muestra se mide con un sensor electroquímico de 2 electrodos. Los gases tóxicos como el monóxido de carbono (CO), el óxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) se evalúan con 3 sensores de electrodos. Los sensores electroquímicos se basan en tecnología de difusión de gas. La ventaja de esta tecnología es que la señal generada es directamente proporcional y lineal a la concentración de volumen (% o ppm) de los componentes del gas de análisis (Anónimo, 2021).

Principio del banco de infrarrojos. Una fuente de infrarrojos regulada (IR) proporciona luz en el rango de 2 a 8  $\mu\text{m}$ , la luz infrarroja se dirige a través de la celda de muestra hasta el detector óptico. La fuente está modulada electrónicamente sin ruedas de corte ni partes móviles. La energía infrarroja residual, no absorbida por el gas de muestra, se dirige al detector óptico. Pasa por un paso óptico de banda estrecha. La luz infrarroja que pasa a través del filtro es recogida por detectores piroeléctricos los cuales produce un voltaje que es proporcional a la intensidad de la luz. A diferencia de los sensores electroquímicos, la medición NDIR no muestra envejecimiento debido a la concentración de gas medida. Su vida útil sólo está limitada por la vida útil de la fuente de infrarrojos (Anónimo, 2021).

Sondas de muestreo de gas. El óptima biogás 7 está disponible con diferentes sondas, ambas con tubos de sonda intercambiables de 300 mm y línea de muestreo de 2.7 m (Anónimo, 2021).

## 1.7 BIBLIOGRAFÍA

- Abdalla. (2007). in vivo methane determination in a small chamber system. *Proc greenhouse gases anim agric conf*, 18-24.
- Anonimo (2021). Optima 7 biogas manual del usuario. (09 de marzo de 2021). Optima 7 biogas. [https://mruiberica.es/wp-content/uploads/2021/03/4102ES-BIO\\_USEManualOPTI\\_MA7biogas\\_V1.02.EN\\_20210309.pdf](https://mruiberica.es/wp-content/uploads/2021/03/4102ES-BIO_USEManualOPTI_MA7biogas_V1.02.EN_20210309.pdf)
- Benaouda, M. G. (2017). Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 965-974.
- Boadi, D. B. (2004). Estrategias de mitigación para reducir las emisiones de metano entérico de las vacas lecheras: revisión de actualización. *Revista canadiense de ciencia animal*, 319-335.
- Broucek, J. (2018). Opciones para la reducción de la producción de metano en rumiantes: una revisión. *J. Anim. Plant Sci*, 348-364.
- Cobos, P. M. A. 2007. Interacciones entre microorganismos ruminales. *Microbiología agrícola: Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta microorganismo*. R. Ferrera-Cerrato y A. Alarcón (Eds.). Editorial Trillas México, DF ISBN, 498-516.
- Cobos, M. A., & Shimada, A. (2015). Digestión y metabolismo ruminal. *Nutrición animal. Tercera Edición*. Trillas, 67-105.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2009). El estado mundial de la agricultura y la alimentación: la ganadería a examen. FAO.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

- González Elizondo, M., Jurado Ybarra, E., González Elizondo, S., Aguirre Calderón, Ó. A., Jiménez Pérez, J., & Návar Cháidez, J. D. J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia uanl*, 6(3).
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of animal science*, 73(8), 2483-2492.
- Kelly, J. M., Kerrigan, B., Milligan, L. P., & McBride, B. W. (1994). *Development of a mobile, open-circuit indirect calorimetry system. Canadian Journal of Animal Science*, 74(1), 65-71.
- Miyasaka, A. S. (2018). Nutrición animal.
- Pinares Patiño, C. H. (2008). medición de la emisión de metano de ovejas por latecnica del trazadorde hexafluoruro de azufre y por la camaracalorimetrica. *Animal*, 141-148.
- Saiz, A. (2010). Ganaderia y cambio climatico: una influencia reciproca . *GeoGrapshos: Revista digital para estudiantes de geografía y cienias sociales*, 1-22.
- Tonini, M. G. (2007). Un metodo de trazador al aire libre para medir las emisiones de metano del ganado. GGAAC.

**2. DESARROLLO DE LA TÉCNICA DE MEDICIÓN DE EMISIONES DE GASES ENTÉRICOS CON EL EQUIPO ÓPTIMA BIOGÁS 7, EN BOVINO CANULADO****2.1 INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial se registra la importancia que tiene la ganadería en el cambio climático, principalmente por su contribución en las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, gases que dan origen al efecto invernadero (O'Mara, 2011). Estos se producen en los bovinos por la digestión anaeróbica de la materia orgánica es decir son subproductos naturales de la fermentación microbiana de los carbohidratos y en menor medida de los aminoácidos en el rumen y el intestino grueso. El metano es producido en condiciones estrictamente anaeróbicas por microorganismos metanogénicos especializados, la gran mayoría de la producción de metano entérico ocurre en el retículo-rumen; las emisiones intestinales representan el 13% en promedio mientras que las rectales van del 2 al 3% (Muñoz, 2012).

Existen diferentes equipos para la medición de GEI, como es la espectroscopia infrarroja y la cromatografía de gases pero estos son equipos que no se pueden trasladar a los establos, además de que estos requieren de material especializado para la recolección de las muestras, así como de personal capacitado; el analizador óptima biogás 7, es un aparato que se utiliza para mediciones simultáneas de biogás en biodigestores, pero ya que éste mide gases tales como O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, por lo cual el objetivo de la presente investigación es utilizar como alternativa el equipo óptima biogás 7, para medir emisiones de metano en rumiantes canulados bajo condiciones de campo.

**2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Un problema que afronta el planeta es el cambio climático y está asociado a la emisión de (GEI), los cuales aumentan en el aire e impiden la salida del calor al espacio exterior, lo que aumenta la temperatura del planeta. En la contribución de las emisiones de GEI en 2010 en métodos de CO<sub>2</sub> eq. la agricultura ocupó el 12.3% (92 184.4 Gg) (SEMARNAT, 2013), lo que precisa al sector ganadero que se realice un seguimiento y

desarrollo de metodologías para la medición de dichos gases en los rumiantes, los cuales deben ser confiables y rápidos.

### **2.3 JUSTIFICACIÓN**

Por lo que se desarrollará una técnica con el equipo óptima biogás 7, el cual tiene una sonda de muestreo que puede medir emisiones de gases, éste da resultados instantáneos en la medición de gases tales como el metano y el dióxido de carbono.

### **2.4 OBJETIVO GENERAL**

2.4.1 Desarrollar una técnica con el aparato óptima biogás 7 para medir producción de metano entérico y dióxido de carbono en bovino canulado.

### **2.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

2.5.1 Medir si el óptima biogás tiene la sensibilidad de detectar gases directamente del rumen.

2.5.2 Medir los gases con el óptima biogás 7, con la cánula entre abierta.

2.5.3 Medir los gases con el óptima biogás 7, con la cánula abierta.

### **2.6 HIPÓTESIS GENERAL**

2.6.1 El desarrollo de la técnica con el óptima biogás 7, será eficiente para medir metano y dióxido de carbono en bovinos canulados.

### **2.7 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

2.7.1 El equipo óptima biogás 7 tendrá la sensibilidad de detectar gases directamente del rumen.

2.7.2 El equipo optima biogás 7 tendrá la sensibilidad de medir gases con la cánula entre abierta.

2.7.3 El equipo óptima biogás 7 tendrá la sensibilidad de medir gases con la cánula abierta.

## 2.8 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la granja experimental y Laboratorio de Microbiología Ruminal y Genética Microbiana del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en el km 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México (Figura 1).

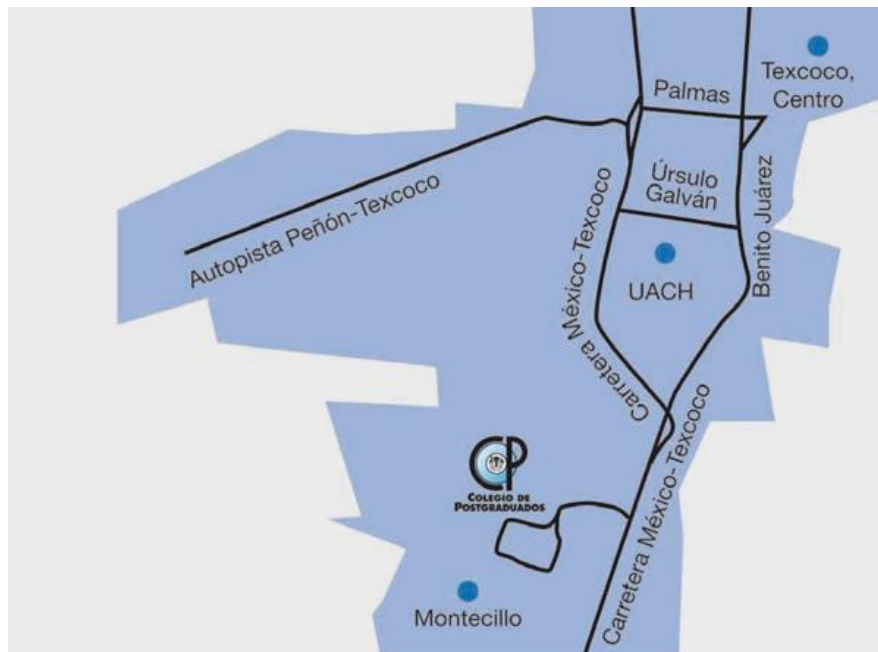


Figura 1. Localización del Colegio de Postgraduados.

Se utilizó una vaca Jersey en periodo seco, con una edad de cuatro años, con un peso de 461 kg, esta tenía tres años con una cánula ruminal de la marca Diamond de cuatro pulgadas. Se usó el reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados, Consejo General Académico, acuerdo 02.11. (2016) y aprobación del Comité de Cuidado Animal del Programa de Ganadería, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados (de Postgraduados, 2016).

La dieta fue a base de concentrado (Cuadro 2), alfalfa achicalada, ensilado de maíz y heno de avena y agua *ad libitum*.

Cuadro 2. Aporte nutricional del concentrado.

	%
<b>Humedad</b>	12
<b>Proteína</b>	18
<b>Grasa</b>	2.8
<b>Calcio</b>	4.5
<b>Fibra</b>	25
<b>Cenizas</b>	26
<b>Extracto Libre de Nitrógeno</b>	29
<b>Fósforo</b>	0.35

Fuente: (APIABA, 2021)

## 2.9 EQUIPO DE CAMPO

- El equipo que se utilizó para medir los gases fue el aparato óptima biogás7 (Figura 2) (Equipo optima biogás 7 MRU® Air Emission Monitoring Systems, Germany, 2015) (Figura 2). Para que el equipo se pueda utilizar este se debe calibrar en un área libre de gases efecto invernadero, ya que, si se lleva a cabo en el área de trabajo, los resultados obtenidos no serán confiables, por lo cual, su calibración se realizó en el laboratorio de Microbiología Ruminal, lo cual sucede en cuanto el equipo es encendido.



Figura 2. Óptima biogás 7.

Para realizar la medición de los gases, se necesita el apoyo de tres personas donde una coloca la sonda de muestreo en la cánula, la segunda sujeta el equipo, y la tercera toma nota de las mediciones.

Los gases que mide el equipo óptima biogás 7 son: metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

## 2.10 METODOLOGÍA

El experimento tuvo una duración de seis días, consistió en dos mediciones cada 24 h, la primera se tomó a las 3 h de haber alimentado a la vaca, para lo cual la cánula se entre abrió para posteriormente introducir la sonda en el rumen (Figura 3) y enseguida se tomaron los datos que arrojó el óptima biogás. La segunda toma de datos se realizó a los 20 min después de la primera (Figura 4), pero ahora el tapón de la cánula se quitó por completo; el equipo se calibró en el laboratorio entre cada medición, cuando la sonda se ensució se limpió con papel higiénico.





Figura 3. Medición con la cánula entre abierta.



Figura 4. Medición con la cánula abierta.

## 2.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos de emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> se analizaron, de acuerdo a:

El modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij} \quad i= 1, 2 \quad j=1, 2, 3, 4, 5, 6$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta en tratamiento  $i$ , repetición  $j$ .

$\mu$  = Media general.

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento i.

$E_{ij}$  = Error aleatorio;  $E_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Para el análisis estadístico se utilizó un programa GLM. Las diferencias entre medias de tratamientos, se compararon con la prueba de Tukey (SAS, 2011).

## 2.12 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 3 y 4 se muestran los resultados de las mediciones con cánula entre abierta y abierta durante seis días de experimento, tomados cada 24 h.

Cuadro 3. Medición de gases con el equipo optima biogás 7 en vaca con fistula ruminal con la cánula entre abierta.

Variables	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V %	
	días										
CH <sub>4</sub> %	0.76	0.85	0.26	0.19	0.29	0.46	0.47	0.28	0.59	59.1	
CO <sub>2</sub> %	2.23	2.42	0.99	0.8	0.75	1.33	1.42	0.73	0.52	51.6	

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V %, coeficiente de variación en por ciento.

Cuadro 4. Medición de gases con el equipo optima biogás 7 en vaca con fistula ruminal con la cánula abierta.

Variables	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V %	
	días										
CH <sub>4</sub> %	0.11	0.12	0.21	0.11	0.25	0.21	0.17	0.06	0.37	6.21	
CO <sub>2</sub> %	0.57	0.64	0.79	0.45	0.7	0.54	0.62	0.12	0.20	12.11	

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V %, coeficiente de variación en por ciento.

En el Cuadro 5 se muestran las medias de la concentración de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> las cuales van de 21 a 24% y 75 a 78% respectivamente, en las concentraciones de dichos gases no se encontraron diferencias ( $p > 0.05$ ) al tener la cánula entre abierta y abierta, por lo que se pueden utilizar ambos métodos y dar el mismo resultado. Cobos y Shimada (2015) reportan en bovinos, una concentración para CH<sub>4</sub> de 27 a 30% y CO<sub>2</sub> de 65 a 70%, por otra parte, Bayané y Guiot (2011) mencionan que la composición de metano en el rumen es de 22 a 29% mientras que el dióxido de carbono va de 65 a 69%.

Cuadro 5. Concentración de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con la cánula entre abierta y abierta.

TRATAMIENTOS	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)
<b>Cánula entre abierta</b>	24.16±3.38a	75.83±3.38a
<b>Cánula abierta</b>	21.15±5.08a	78.84±5.08a
<b>EEM</b>	0.07	0.18

**EEM**, error estándar de la media; Medias con la misma letra entre columnas no son diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cánula entre abierta**: primera medición con la cánula entre abierta, 3 h después de ser alimentada la vaca.

**Cánula abierta**: medición de gas 20 min después de realizar la primera medición, con la cánula completamente abierta.

La concentración de metano tiene dos factores responsables de la variación en la producción de este gas, una es la cantidad de carbohidratos fermentados en el rumen y la tasa de pasaje, y la otra es la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, lo que regula la producción de H<sub>2</sub> y la subsecuente producción de CH<sub>4</sub> (Johnson y Johnson, 1995).

### 2.13 CONCLUSIÓN

El equipo óptima biogás 7 tiene la sensibilidad de medir metano y dióxido de carbono, cuando la cánula se encuentra entre abierta y completamente abierta en el rumen del bovino.

## 2.14 BIBLIOGRAFÍA

- Bayané, A., & Guiot, S. R. (2011). Animal digestive strategies versus anaerobic digestion bioprocesses for biogas production from lignocellulosic biomass. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 10, 43-62.
- Cobos, P. M. A., y Shimada, M. A. (2015). Digestión y metabolismo ruminal. Shimada, M.A. Nutrición animal (pp.33-136). Trillas.
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of animal science*, 73(8), 2483-2492.
- Muñoz, C., Yan, T., Wills, D. A., Murray, S., & Gordon, A. W. (2012). Comparison of the sulfur hexafluoride tracer and respiration chamber techniques for estimating methane emissions and correction for rectum methane output from dairy cows. *Journal of dairy science*, 95(6), 3139-3148.
- O'Mara, F. P. (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 7-15.
- de Postgraduados, C. (2016). Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados. *Dirección de Investigación*. Available in: [http://www.colpos.mx/wb\\_pdf/norma\\_interna/reglamento\\_usoycuidadoanimales\\_050819.Pdf](http://www.colpos.mx/wb_pdf/norma_interna/reglamento_usoycuidadoanimales_050819.Pdf).
- SAS (Statistical Analysis System) (2011). Statistical Analysis Software (SAS/STAT). Version 9.33 Ed. Cary, N.C. USA.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2013. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. [www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf\\_inegei\\_public\\_2010.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_public_2010.pdf)

**3. MEDICIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO EN VACAS CANULADAS CON EL EQUIPO ÓPTIMA BIOGÁS 7****3.1 INTRODUCCIÓN**

Los rumiantes tienen un estómago que se divide en cuatro compartimentos: retículo, rumen, omaso y abomaso. El retículo, el rumen y el omaso están recubiertos con tejidos no glandulares y membranas mucosas, mientras que el abomaso produce una secreción mixta de ácido, enzima y moco. El compartimento más grande es el rumen, que junto con el retículo sirven como áreas de fermentación anaeróbica, generalmente se le conoce como retículo-rumen porque juntos funcionan en el ciclo del rumen (contracciones coordinadas) para que se lleve a cabo el eructo y la rumia (Pond *et al.*, 2002).

El contenido del rumen es una mezcla compleja de alimento, agua, productos de fermentación y organismos vivos como bacterias, hongos y protozoos, que varían con el tiempo y con el tipo de dieta (Durmic, 2015). Como es imposible reproducir este sistema complejo en el laboratorio, la fistulación quirúrgica y la canulación del rumen es una herramienta importante para el estudio (*in vivo* e *in situ*) de la fisiología y bioquímica del sistema digestivo de los rumiantes. La fistulación del rumen en bovinos se ha realizado extensamente para la comprensión de la fisiología y el desarrollo digestivo, como es la digestibilidad de los nutrimentos y el estudio de las poblaciones microbianas que se encuentran en el rumen (Owens y Basalan, 2016).

En este, el proceso de fermentación produce gases como el CH<sub>4</sub> que es un subproducto del proceso de digestión microbiana en el rumen, la cantidad liberada de este, depende de la edad, peso del animal, así como de la calidad y cantidad del alimento consumido (IPCC, 2006).

## **3.2 OBJETIVO GENERAL**

3.2.1 Determinar la precisión y exactitud del equipo óptima biogás 7 para medir las emisiones de metano entérico y dióxido de carbono en bovinos canulados.

## **3.3 OBJETIVO ESPECÍFICO**

3.3.1 Comparar las concentraciones de gas metano entérico y dióxido de carbono al usar el equipo óptima biogás 7 durante siete días.

## **3.4 HIPÓTESIS GENERAL**

3.4.1 El equipo óptima biogás 7 tiene la sensibilidad de medir variaciones de gases metano y dióxido de carbono entérico en bovinos canulados antes y después de 3 h de alimentación.

## **3.5 HIPÓTESIS ESPECIFICA**

3.5.1 No habrá diferencia en las emisiones de metano entérico y dióxido de carbono entre el equipo óptima biogás 7 en mediciones realizadas durante siete días.

## **3.6 MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la granja experimental y Laboratorio de Microbiología Ruminal y Genética Microbiana del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en el km 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México.

Se utilizaron cinco vacas canuladas, una de la raza Jersey, con una edad de cinco años y cuatro de la raza Holstein, con una edad promedio de dos años, con un peso promedio de 498 kg, las cánulas eran de la marca Diamond, de cuatro pulgadas, con seis meses de ser colocadas, a estas se les colocó un niple de espiga de bronce de 5/32 IN de diámetro y 1.5 IN de largo con dos tramos de manguera tipo tygon con un diámetro interno 4mm, diámetro externo 7.1mm y grosor 1.6mm de 2cm de largo en cada lado del niple para tener un mayor soporte, y al extremo de manguera que sobresalía del tapón se le colocó una punta de 200µL para Eppendorf previamente sellada para evitar la salida del gas con la finalidad de extraer el gas ruminal sin ser contaminado (Figura 5).



Figura 5. Tapón de la cánula con niple de espiga.

Se utilizó:

- Una jeringa de 500 CC (Figura 6).
- Diez bolsas de biogás Bolso tedlar (modelo Tedlar/TO-Plus Gas, material: polipropileno 2-N-1, ESS, dimensión 7x7, 2018, EE. UU) (Figura 7).
- Equipo optima biogás 7 (MRU® Air Emission Monitoring Systems, Germany, 2015) (Figura 2).



Figura 6. Jeringa para extracción de gas.



Figura 7. Bolsas tedlar para almacenar la muestra de biogás.

### 3.7 METODOLOGÍA

El experimento tuvo una duración de siete días, las mediciones fueron cada 24 h, las vacas se alimentaron a las 8:00 am, a estas se les extrajo gas ruminal antes de ser alimentadas (primera extracción) y tres horas después de consumir alimento (segunda extracción). Estos dos tiempos tuvieron como finalidad conocer si la concentración de gas ruminal se modifica con la alimentación.

#### **Extracción de gas**

A cada vaca se le extrajo gas ruminal antes de que fueran alimentadas, para lo cual se destapo el niple que estaba colocado en la cánula, enseguida se colocó la jeringa de 500 CC, se extrajeron tres veces 400 CC de gas ruminal por vaca (Figura 8), posteriormente se cerró la cánula y se llenaron las bolsas de biogás (1,200CC), una por cada animal (Figura 9).





Figura 8. Extracción/gas ruminal.



Figura 9. Gas ruminal almacenado (1200CC).

Una vez que se extrajo el gas, las vacas fueron alimentadas con una dieta a base de alfalfa, avena, 1 kg de concentrado (Cuadro 6), ensilado, sales minerales y agua (*ad libitum*) (Figura 10).

Cuadro 6. Aporte nutricional del concentrado.

	%
<b>Humedad</b>	12
<b>Proteína</b>	12
<b>Grasa</b>	2.8
<b>Calcio</b>	4.5
<b>Fibra</b>	25
<b>Cenizas</b>	26
<b>E.L.N</b>	29
<b>Fósforo</b>	0.35

Fuente: (APIABA, 2021).



Figura 10. Alimentación de las vacas.

Pasadas las 3 h de haber sido alimentadas se realizó la segunda extracción de gas donde se repitió el procedimiento antes mencionado, las bolsas se transportaron al laboratorio de microbiología.

Se midió el gas de las bolsas tedlar con el equipo optima biogás 7, para lo cual a la sonda de muestreo del equipo se le incorporo una jeringa de 5 ml, se encendió el equipo y manualmente se calibro, después de ello se conectó la jeringa a la válvula (Figura 11) de las bolsas de biogás para medir los gases (Figura 12).

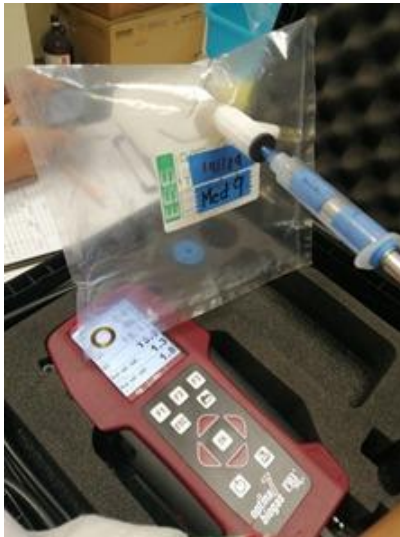


Figura 11. Conexión de la jeringa.



Figura 12. Medición de las muestras.

### 3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos de emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> se analizaron, de acuerdo al:

Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij} \quad i= 1, 2 \quad j=1,2,3,4,5,6,7$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta en tratamiento  $i$ , repetición  $j$ .

$\mu$  = Media general.

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento  $i$ .

$E_{ij}$  = Error aleatorio;  $E_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Para el análisis estadístico se utilizó un programa GLM. Las diferencias entre medias de tratamientos, se compararon con la prueba de Tukey (SAS, 2011).

También se determinó la variabilidad entre vacas con los gases CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> de acuerdo al:

El modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij} \quad i= 1, 2, 3, 4, 5 \quad j=1,2,3,4,5,6,7$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta en tratamiento  $i$ , repetición  $j$ .

$\mu$  = Media general.

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento  $i$ .

$E_{ij}$  = Error aleatorio;  $E_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Para el análisis estadístico se utilizó un programa GLM. Las diferencias entre medias de tratamientos, se compararon con la prueba de Tukey (SAS, 2011).

### 3.9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante siete días cada 24 h antes y después de la alimentación (Cuadro 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,17, 18, 19 y 20).

Cuadro 7. Día uno, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
Vacas									
CH <sub>4</sub> %	12.89	16.63	5.99	8.9	18.79	12.64	5.29	0.42	41.87
CO <sub>2</sub> %	53.88	61.56	23.03	30.99	67.18	47.33	19.34	0.41	40.87

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

Cuadro 8. Día uno, mediciones con el equipo optima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
vacas									
CH <sub>4</sub> %	21.04	1.66	7.74	10.83	14.45	11.14	7.254	0.65	65.09
CO <sub>2</sub> %	62.56	5.64	26.27	36.91	44.1	35.10	21.12	0.60	60.18

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

Cuadro 9. Día dos, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
vacas									
CH <sub>4</sub> %	22.01	17.6	4.11	7.7	14.1	13.10	7.26	0.55	55.38
CO <sub>2</sub> %	70.22	34.42	12.37	21.55	41	35.90	22.17	0.62	61.74

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

Cuadro 10. Día dos, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
vacas									
CH <sub>4</sub> %	21.02	2.73	5.37	11.92	17	11.61	7.67	0.66	66.10
CO <sub>2</sub> %	54.94	9.2	16.99	30.46	44.1	31.15	18.82	0.60	60.44

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

Cuadro 11. Día tres, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
vacas									
CH <sub>4</sub> %	6.32	3.93	2.8	4.3	12.84	6.04	4.01	0.66	66.40
CO <sub>2</sub> %	20.4	7.81	8.19	12.55	37.12	17.21	12.23	0.71	71.03

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

Cuadro 12. Día tres, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
vacas									
CH <sub>4</sub> %	26.85	1.67	6.48	6.63	8	9.93	9.76	0.98	98.33
CO <sub>2</sub> %	51.27	4.7	15.6	16.32	19.99	21.58	17.55	0.81	81.35

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

Cuadro 13. Día cuatro, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
vacas									
CH <sub>4</sub> %	12.06	11.3	2.2	2.7	13.04	8.26	5.34	0.65	64.68
CO <sub>2</sub> %	37.08	25.63	6.72	9.6	37.86	23.37	14.75	0.63	63.08

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

Cuadro 14. Día cuatro, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V %
vacas									
CH <sub>4</sub> %	21.64	3.37	6.52	12.83	22.33	13.34	8.60	0.64	64.48
CO <sub>2</sub> %	61.64	9.95	20.98	36.01	56.27	36.97	22.18	0.60	59.99

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

Cuadro 15. Día cinco, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
vacas									
CH <sub>4</sub> %	9.49	11.8	1.36	2.12	18.95	8.74	7.29	0.83	83.35
CO <sub>2</sub> %	24.78	21.04	4.11	5.12	41.35	19.28	15.42	0.80	79.98

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

Cuadro 16. Día cinco, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
vacas									
CH <sub>4</sub> %	13.71	4.07	3.32	7.03	13.97	8.42	5.14	0.61	61.04
CO <sub>2</sub> %	28.36	10.64	7	15.54	30.91	18.49	10.65	0.58	57.62

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en por ciento.

Cuadro 17. Día seis, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V %
vacas									
CH <sub>4</sub> %	2.71	14.11	1.21	2.55	17.01	7.52	7.44	0.99	98.90
CO <sub>2</sub> %	6.23	19.24	3.02	6.91	36.35	14.35	13.76	0.96	95.90

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en por ciento.

Cuadro 18. Día seis, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V %
vacas									
CH <sub>4</sub> %	4.3	3.87	2.21	2.48	7.99	4.17	2.31	0.55	55.46
CO <sub>2</sub> %	11.36	9.06	5.23	4.3	16.73	9.336	5.03	0.54	53.84

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en por ciento.

Cuadro 19. Día siete, mediciones con el optima biogás 7 en vacas canuladas antes de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
vacas									
CH <sub>4</sub> %	5.79	11.8	0.99	2.21	12.22	6.60	5.24	0.79	79.44
CO <sub>2</sub> %	13.39	14.9	1.9	5.95	26.05	12.44	9.29	0.75	74.71

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

Cuadro 20. Día siete, mediciones con el equipo óptima biogás 7 en vacas canuladas después de ser alimentadas.

Variables	#191107	JERSEY	#191103	#191109	#394	$\bar{x}$	$\sigma$	C.V	C.V%
vacas									
CH <sub>4</sub> %	13.54	4.48	2.79	3.48	10.84	7.03	4.85	0.69	68.99
CO <sub>2</sub> %	32.25	10.9	8.08	7.44	23.4	16.41	10.95	0.67	66.74

CH<sub>4</sub>, metano; CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono;  $\bar{x}$ , promedio;  $\sigma$ , desviación estándar; C.V, coeficiente de variación; C.V%, coeficiente de variación en porciento.

En la presente investigación al medir el gas metano y dióxido de carbono antes y después de la alimentación con el equipo optima biogás 7 las concentraciones de estos gases se mantuvieron sin importar el ayuno o la alimentación ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 21). Respecto a la alimentación durante el ayuno y 3 h post alimentación estas se mantuvieron según el aparato con el que se midieron ya que en los bovinos el tiempo de fermentación es de 48 a 60 h (Ørskov, 1994).

Cuadro 21. Concentración de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en vacas canuladas antes y después de haber sido alimentadas.

Tratamientos	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)
Optima biogás ayunas	27.94a	72.05a
Optima post alimentación	28.10a	71.89a
EEM	0.55	0.56

EEM, error estándar de la media; optima biogás ayunas, es la medición antes de consumir el alimento; optima post alimentación, medición después de 3 h de haber consumido el alimento.



Con el optima biogás 7 se determinó la variabilidad de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> entre vacas (Cuadro 22), antes de la alimentación del CH<sub>4</sub> fue mayor en dos vacas (P<0.05) y disminuyó en las restantes; respecto al CO<sub>2</sub> este se mantuvo elevado en cuatro vacas y solo una tuvo baja concentración (P<0.05). Después de ser alimentadas, las concentraciones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> no se modificaron (P>0.05) en ninguna vaca. Carmona (2005), menciona que la cantidad de estos gases pueden modificarse por diversos factores como son la edad, raza, peso del animal, así como la digestibilidad de los nutrimentos y la frecuencia de alimentación.

Cuadro 22. Variabilidad de la concentración de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por cada vaca antes y después de haber sido alimentadas.

TRATAMIENTO	CH <sub>4</sub> antes de ser alimentadas	CO <sub>2</sub> antes de ser alimentadas
#191107	25.17b	74.82a
JERSEY	34.51a	65.48b
#191103	26.20b	73.79a
#191109	25.63b	74.36a
#394	28.69ab	71.30ab
EEM	0.95	0.95
TRATAMIENTO	CH <sub>4</sub> después de ser alimentada	CO <sub>2</sub> después de ser alimentadas
#191107	28.43a	71.56a
JERSEY	26.25a	73.73a
#191103	26.70a	73.30a
#191109	29.70a	70.63a
#394	29.98a	70.01a
EEM	0.59	0.59

EEM, error estándar de la media; #191107, JERSEY #191103, #191109, #394, es la medición por cada vaca antes de ser alimentadas; #191107, JERSEY, #191103, #191109, #394, es la medición por cada vaca después de 3 h de haber sido alimentadas.

Jonson y Jonson mencionan que los factores responsables de las variaciones en la producción de gases son la cantidad de carbohidratos fermentados en el retículo-rumen y la relación de ácidos grasos volátiles de cadena corta (AGVCC) producidos.

### **3.10 CONCLUSIÓN**

Se concluye que en vacas canuladas el ayuno y la medición 3 h después de la alimentación no modifica la concentración de metano y dióxido de carbono con el equipo optima biogás 7.

Entre una vaca y otra el ayuno influye en la concentración de gas metano y dióxido de carbono, mientras que después de consumir alimento las concentraciones de estos gases no se modifican.

## BIBLIOGRAFÍA

- Carmona, J. B. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 49-63.
- Pond, W. G., Church, D. C., & Pond, K. R. (2002). *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. Editorial Limusa S.A. De C.V.
- Durmic, Z. M. (2015). Eventos quirúrgicos y postoperatorios durante la fístula permanente de rumen ovino por el método de Schalk y A madon. *Diario veterinario australiano*, 234-239
- IPCC. 2006. Climate Change 2006: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 996 p.
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of animal science*, 73(8), 2483-2492.
- Ørskov, E. R. 1994. Recent advances in understanding of microbial transformation in ruminants. *Livestock Production Science*. 39: 53-60.
- Owens, FN y Basalan, M. (2016). Fermentación ruminal. *Rumenología*, 63-102.
- SAS (Statistical Analysis System) (2011). *Statistical Analysis Software (SAS/STAT)*. Version 9.33 Ed. Cary, N.C. USA.