

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EMISIONES DE METANO EN NOVILLOS WAGYU PUROS EN  
CONFINAMIENTO**

**por**

**Inés BRUFAO GALUSSO  
Pilar TERRA ARDOGUEIN**

**Trabajo final de  
grado presentado  
como uno de los  
requisitos para  
obtener el título de  
Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2024**

**PÁGINA DE APROBACIÓN**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

---

Ing. Agr. DSc Ana C. Espasandin

---

Ing Agr. MSc Maria Federica Marín

Tribunal:

---

Ing. Agr. DSc Ana C. Espasandin

---

Ing Agr. MSc Maria Federica Marín

---

Ing. Agr. MSc Maria Jose Abud

---

Lic. Biol. Dr. Hugo Naya

Fecha: 17 de mayo del 2024

Estudiantes:

---

Inés Brufao

---

Pilar Terra

### **AGRADECIMIENTOS**

A nuestra tutora, Ing. Agr. PhD, Ana C. Espasandín por acompañar el proceso de aprendizaje en la elaboración de un trabajo final de grado.

Al Ing. Agr. Andrés Rogberg por su colaboración al proporcionar las instalaciones y los animales de la cabaña "El Oriental" para esta investigación.

Agradecer a la Ing. Agr. PhD, Elly Navajas por la disposición a la hora de brindarnos sus conocimientos e información sobre el tema.

También agradecer a Luc. Biol. Dr. Hugo Naya por brindarnos el dispositivo LMD para realzar las mediciones en la investigación.

Y por último, a nuestras familias y amigos por la compañía y el apoyo durante el camino estudiantil.

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>PÁGINA DE APROBACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE FIGURAS Y CUADROS .....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Hipótesis .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Objetivos generales .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3 Objetivos específicos.....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Gas metano.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Metano como problemática mundial.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Emisiones de metano en la producción de carne bovina.....</b>	<b>13</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Población de estudio .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Diseño experimental y tratamiento .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 Composición de la dieta .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4 Condiciones de confinamiento .....</b>	<b>17</b>
<b>3.5 Procedimiento medición de metano técnica LMD.....</b>	<b>17</b>
<b>3.6 Registro de datos y análisis estadístico .....</b>	<b>19</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>21</b>
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>28</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>30</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>31</b>

## LISTA DE FIGURAS Y CUADROS

<b>Figura No.</b>	<b>Página</b>
Figura 1 <i>Dispositivo LMD utilizado en la medición de las emisiones de CH<sub>4</sub> en novillos Wagyu</i> .....	18
Figura 2 <i>Esquematización de la determinación de metano a diferentes distancias del animal</i> .....	19
Figura 3 <i>Esquema representativo de las determinaciones en la práctica del experimento</i> .....	19
Figura 4 <i>Ejemplo 1 de la dispersión entre las variables CH<sub>4</sub> (ppm/m) y tiempo (segundos) en la primer medida</i> .....	23
Figura 5 <i>Ejemplo 2 de la dispersión entre la variable CH<sub>4</sub> (ppm/m) y tiempo (segundos) en la primer medida</i> .....	23
Figura 6 <i>Ejemplo 1 de la dispersión entre las variables CH<sub>4</sub> (ppm/m) y tiempo (segundos) en la segunda medida</i> .....	25
Figura 7 <i>Ejemplo 2 de la dispersión entre la variable CH<sub>4</sub> (ppm/m) y tiempo (segundos) en la segunda medida</i> .....	25
<b>Cuadro No.</b>	<b>Página</b>
Cuadro 1 <i>Composición de las dietas utilizadas como alimento para los novillos Wagyu en los cuatro tratamientos</i> .....	17
Cuadro 2 <i>Valores de máximo, mínimo, desvío y cantidad de datos correspondiente a picos y no picos</i> .....	20
Cuadro 3 <i>Producción promedio de metano previo al comienzo de la aplicación de tratamientos nutricionales diferentes</i> .....	21
Cuadro 4 <i>Producción de metano por grupo previo a la aplicación de los tratamientos alimenticios</i> .....	22
Cuadro 5 <i>Resultado ANOVA realizado sobre la producción de metano previo a la aplicación de los tratamientos</i> .....	22
Cuadro 6 <i>Producción de metano posterior a la aplicación de los tratamientos alimenticios</i> .....	24

Cuadro 7 <i>Resultado ANOVA realizado sobre la producción de metano posterior a la aplicación de los tratamientos</i> .....	24
Cuadro 8 <i>Relación entre el % de FDN, EE y las emisiones en ppm/m en cada tratamiento</i> .....	26
Cuadro 9 <i>Resultado del peso (kg) en inicio y fin de los tratamientos, incluyendo animales que perdieron peso</i> .....	26
Cuadro 10 <i>Resultado de la evaluación del peso en inicio y fin, únicamente para animales que ganaron peso</i> .....	27
Cuadro 11 <i>Resultado de emisiones de metano ppm/m en relación a kg ganados</i> .....	27
Cuadro 12 <i>Resultados ANOVA sobre las emisiones de metano ppm/m por kg ganado</i> .....	27

## **RESUMEN**

El propósito de este estudio fue evaluar las emisiones de metano en novillos de raza Wagyu en la cabaña "El Oriental" en Mercedes, utilizando el método LMD. Se recolectaron datos de 32 animales alimentados con dietas húmedas y secas, incluyendo la adición de lípidos. Se aplicaron análisis de varianza y pruebas de Tukey utilizando los procedimientos MIXED y GLM en el programa SAS para el análisis estadístico. Los resultados indicaron que los novillos Wagyu alimentados con dietas húmedas mostraron diferencias significativas en la producción de metano, medida en ppm/m, en comparación con los alimentados con dietas secas, lo que respalda la hipótesis planteada.

*Palabras clave:* metano, Wagyu, Laser Methane Detection (LMD), GEI, emisiones, Uruguay

### **SUMMARY**

The purpose of this study was to evaluate methane emissions in Wagyu steers at the "El Oriental" hut in Mercedes, using the Laser Methane Detection. Data were collected from 32 animals fed wet and dry diets, including the addition of lipids. Analysis of variance and Tukey tests were applied using the MIXED and GLM procedures in the SAS program for statistical analysis. The results indicated that Wagyu steers fed wet diets showed significant differences in methane production, measured in ppm/m, compared to those fed dry diets, supporting the hypothesis stated.

*Keywords:* methane, Wagyu, Laser Methane Detection (LMD), GHG, emissions, Uruguay

## **1. INTRODUCCIÓN**

Uruguay es reconocido por ser un país agroexportador, con acceso a los mercados más exigentes, cumpliendo con altos estándares internacionales y contando con una especialización productiva en el sector ganadero. Tal es la importancia del rubro para el país, que en el año 2021 la ganadería representó un 4.7% del PBI nacional, siendo el rubro de mayor importancia en cuanto a exportaciones, representando el 21% del total de las mismas (Uruguay XXI, 2022).

Por otra parte, a nivel global, la industria ganadera es uno de los principales contribuyentes a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente metano. En particular Uruguay es responsable de 0.05% de las emisiones globales de GEI, lo que ha motivado al país a tomar medidas de mitigación y potenciar la capacidad adaptativa frente a la problemática ambiental (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 2019).

Las consecuencias del cambio climático actúan desestabilizando pilares clave del funcionamiento mundial. Los efectos abarcan sequías intensas, escasez de agua, incendios graves, aumento del nivel del mar, inundaciones, deshielo de polos, disminución de la biodiversidad, entre otros, obligando a la sociedad a implementar medidas rápidas y acertadas.

Particularmente, el metano es un compuesto químico liberado al medio ambiente como desecho de la fermentación anaeróbica de los microorganismos ruminales. Este gas presente en la atmósfera tiene la capacidad de absorber la luz infrarroja, disminuyendo la salida de la energía calórica hacia el exterior de la capa atmosférica. En este sentido, la búsqueda de alternativas para reducir la emisión de metano se ha convertido en un tema crucial en búsqueda de mitigar los efectos del calentamiento global. Se han implementado medidas significativas para abordar los desafíos climáticos en curso. Estas medidas han estado especialmente motivadas por los compromisos adoptados en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMUNCC) bajo el Acuerdo de París, donde Uruguay se comprometió, para el año 2030, a reducir en un 2% la intensidad de emisión de metano por unidad de producto de carne vacuna. A modo de referencia, en el año 2019, el 48,6% del total de emisiones del país fue atribuido a la producción de carne vacuna (Ministerio de Ambiente, 2022).

Por su parte, a nivel nacional, la producción de novillos Wagyu ha ganado gran importancia en los últimos años, debido a la alta calidad de su carne y el potencial exportador de la misma. La alta calidad de este producto está

determinada por un rasgo distintivo: el alto potencial de engrasamiento intramuscular (marmoleo). Sin embargo, para explotar este potencial, es necesario un sistema de producción particular e intensiva donde los animales permanecen en confinamiento durante un año con dietas altamente energéticas.

Es así que el objetivo de este trabajo es analizar la utilización de diferentes dietas en novillos Wagyu en Uruguay, enfocándose en su impacto en la emisión de metano. Para ello, se llevará a cabo un estudio experimental que permita comparar la emisión de este gas en novillos alimentados con una dieta convencional denominada dieta húmeda versus una dieta seca enriquecida con lípidos. Los resultados de esta investigación podrían contribuir al desarrollo de prácticas alimentarias más sostenibles en la producción ganadera.

### **1.1 Hipótesis**

Existirán diferencias en la producción de metano de novillos de la raza Wagyu alimentados con dietas variando en la proporción de fibra, humedad y extracto etéreo.

### **1.2. Objetivos generales**

Analizar el efecto de diferentes dietas en animales de la raza Wagyu sobre las emisiones de gas metano en un sistema de confinamiento en el litoral oeste del Uruguay.

### **1.3 Objetivos específicos**

Comparar las emisiones de gas metano en animales con diferente dieta en lo que refiere al contenido de humedad y la presencia de lípidos en raza Wagyu puro.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Gas metano**

El metano ( $\text{CH}_4$ ) está compuesto por un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno, siendo el hidrocarburo más simple y abundante en la Tierra. Este compuesto se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias siendo el mismo incoloro, inoloro y altamente inflamable. Se encuentra en fuentes naturales y se utiliza como recurso energético y materia prima en diversas aplicaciones industriales.

La principal fuente de metano en nuestro planeta proviene de la actividad biológica. Este gas se genera como subproducto de la actividad de microorganismos metanogénicos que prosperan en entornos sin oxígeno. United Nations Environment Programme y Climate and Clean Air Coalition (UNEP & CCAC, 2021) señalan en su informe que las emisiones de metano causadas por el hombre provienen en su mayoría de tres sectores: agricultura (40%), combustibles fósiles (35%) y desechos (20%). En el ámbito de los combustibles fósiles, la extracción, el procesamiento y la distribución de petróleo y gas constituyen el 23% de las emisiones, mientras que la minería del carbón representa el 12%. En el sector de los desechos, los vertederos y las aguas residuales contribuyen con aproximadamente el 20% de las emisiones. En el sector agrícola, las emisiones de ganado derivadas del estiércol y la fermentación entérica representan alrededor del 32%, y el cultivo de arroz contribuye con el 8%.

En este sentido, en la fermentación ruminal los productos de la digestión son ácidos grasos volátiles (propiónico, butírico, acético),  $\text{CH}_4$ , agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y proteína microbiana. En la respiración celular los microorganismos metanogénicos utilizan el hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), producto de la formación de ácido acético, para producir  $\text{CH}_4$  y  $\text{H}_2\text{O}$  evitando que el  $\text{H}_2$  se acumule en el rumen. Remover el  $\text{H}_2$  es crucial para la salud ruminal dado que la acumulación de este elemento limita la habilidad de la población microbiana para oxidar cofactores responsables de transferir electrones. Esto reduce la degradación de carbohidratos, el crecimiento microbial y la síntesis de proteínas de la célula microbiana (Ramírez et al., 2014)

El metano, a su vez, forma parte del ciclo biogénico del carbono. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por medio de la fotosíntesis es capturado por la planta, la cual conserva el carbono y libera el oxígeno como desecho. Cuando el animal consume la planta, ese carbono en el rumen se une a los hidrógenos libres que resultan de la síntesis de ácido acético, generando metano como resultado. Este hidrocarburo

formado es expulsado por el animal, permaneciendo entre 9 y 12 años en la atmósfera para oxidarse y volver a romperse en moléculas de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (CLEAR Center at UC Davis, 2020).

El metano producido por el ganado se considera un gas de flujo, porque lo que es producido, eventualmente es destruido. De forma contraria el dióxido de carbono emitido por combustibles fósiles se considera un gas de reserva, es decir se acumula en la atmósfera. Se destaca entonces la importancia del CH<sub>4</sub> emitido por el ganado como parte de un ciclo, existiendo la capacidad de influir en el manejo de los animales para reducir sus emisiones mediante la utilización de aditivos, la instalación de digestores o el uso de diferentes genotipos (UNEP & CCAC, 2021)

## **2.2 Metano como problemática mundial**

La temperatura promedio de la superficie de la Tierra ha experimentado un aumento en la última década. Según los datos recopilados por la National Aeronautics and Space Administration (2023), el año 2023 tuvo una temperatura promedio mundial de 1.17 grados Celsius por encima del promedio registrado entre los años 1951 a 1980. Más aún, si se compara con el periodo preindustrial, el año 2023 mostró 1.36 °C mayor temperatura que el promedio preindustrial de finales del siglo XIX (1850-1900).

Este hecho ha generado preocupación y ha motivado la búsqueda de métodos para reducir los GEI y controlar su impacto. Los GEI desempeñan un papel fundamental en la vida en nuestro planeta, ya que contribuyen a mantener la temperatura terrestre en aproximadamente 15 °C. Su presencia es crucial, sin embargo, la alta concentración actual de estos gases representa una amenaza significativa para el futuro cercano. Según Naciones Unidas (ONU, 2021), una evaluación global del metano realizada por la Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) señala que las emisiones de metano producidas por actividades humanas podrían reducirse hasta un 45% en la próxima década. Estas reducciones podrían evitar un aumento de aproximadamente 0.3°C en el calentamiento global para el año 2045, lo que contribuiría al cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París para limitar el aumento de la temperatura global a 1.5°C.

El metano es un gas dañino que ha sido ignorado por mucho tiempo en la lucha contra el calentamiento global. Según la ONU (2021), el metano ha calentado el planeta 80 veces más que el CO<sub>2</sub> en un periodo de 20 años. Sin

embargo, el CH<sub>4</sub> tiene una vida relativamente corta en la atmósfera, permaneciendo 12 años en la misma, por lo que reducir la concentración de este gas se presenta como la vía más eficaz que se tiene para frenar el cambio climático durante los próximos 25 años y complementar los esfuerzos necesarios para reducir el dióxido de carbono.

Como se mencionó, en la atmósfera el gas metano causa que la energía no pueda escapar de la Tierra, quedando atrapada y aumentando la temperatura. Este aumento produce un efecto dominó, a mayores temperaturas, mayor es la velocidad con la que se descompone la biomasa liberando metano en el proceso.

Existen diversas instituciones prometedoras que se están desarrollando y aplicando para abordar el desafío de reducir las emisiones de metano. Se destaca la creación del observatorio Internacional de Emisiones de Metano (IMEO, por sus siglas en inglés), con el objetivo de recopilar e integrar diversos flujos de datos. Según una publicación de Kupers et al. (2022) el IMEO tiene como objetivo obtener un registro público, mundial verificado, con alta precisión y confiabilidad, proporcionando información sobre cantidad y ubicación de las emisiones de metano que apuntan a acciones estratégicas de mitigación.

### **2.3 Emisiones de metano en la producción de carne bovina**

A medida que crece la población mundial y ciertos países experimentan un crecimiento en su desarrollo económico, se da un aumento en el consumo de alimentos costosos como la carne. Sin embargo, una de las complejidades que presenta la producción ganadera son los cuestionamientos que enfrenta respecto a su impacto en el medio ambiente.

Existen sin embargo diferentes estrategias para mitigar la producción del metano por parte de los rumiantes. En este sentido, las diferentes dietas inducen variaciones en la proporción de las distintas bacterias ruminales. Es trascendente conocer el impacto que generan sistemas de alimentación contrastantes en los microorganismos presentes en el rumen. En este capítulo se detalla el efecto de la dieta, contrastando dietas con alta y baja proporción de fibra.

La producción entérica de metano se atribuye principalmente a dos variables: la tasa de consumo y la concentración de fibra presente en la dieta (Hristov et al., 2013). Una dieta alta en concentrados, genera un aumento en la tasa de consumo como consecuencia de una mayor tasa de pasaje en el rumen. Por esta razón se produce una disminución en la pérdida de energía como forma de metano por kg de alimento consumido. A su vez, este tipo de alimentos generan

una baja relación acético: propiónico, resultando en una menor presencia de hidrógeno libre. Lo contrario sucede al aumentar la proporción de fibra, la digestión de ésta por parte de microorganismos celulolíticos aumenta la relación acético: propiónico provocando así una mayor producción de metano (Thompson & Rowntree, 2020).

En un manual realizado por Becoña (2022) se reportan los resultados de una investigación realizada por Santander et al. (2022), que midió las emisiones de metano en novillos en fase de terminación, los cuales fueron alimentados con dietas contrastantes en los niveles de fibra. A partir de esto se pudieron estimar las emisiones de metano con la siguiente ecuación:

$$\text{Kg CH}_4 / \text{animal/ año} = (\text{EB} \times \text{Ym} \times 365 \text{ días}) / (55.65 \text{ Mj/kg CH}_4)$$

Donde EB la energía bruta consumida e Ym la proporción de esa energía perdida en forma de metano.

El consumo de EB está estrechamente ligado a la digestibilidad de los alimentos que se consumen. En términos generales, cuando se suministra una alimentación de alta calidad (caracterizada por una alta digestibilidad y valores energéticos elevados), las emisiones tienden a ser inferiores por unidad de producto consumido en comparación con situaciones en las que se consumen alimentos de baja digestibilidad y con valores energéticos más bajos (Becoña, 2022).

A su vez, la cantidad de ingesta del alimento afecta los procesos de fermentación en el rumen, estando las emisiones de CH<sub>4</sub> directamente relacionadas con el nivel de ingesta (Jonker et al., 2017). Estos factores poseen una relación positiva: a mayor materia seca (MS) ingerida (kg/d), mayor es la emisión neta de metano (g/d). En este sentido, los resultados del estudio antes mencionado (Santander et al., 2022), realizado sobre novillos en fase de terminación alimentados con dietas contrastantes en los niveles de fibra, indicaron que los animales del grupo baja fibra (BF) presentaron mayores emisiones (g/d de CH<sub>4</sub>) a consecuencia de mayor consumo de MS y mayor concentración de energía en la dieta. Es de principal importancia observar la intensidad de emisión la cual refiere al CH<sub>4</sub> emitido por unidad de MS consumida (g CH<sub>4</sub>/ kg MSI), resultando en valores de 21,7 y 23,72 g de CH<sub>4</sub> por kg de MS consumida por día en grupo de BF y AF respectivamente. Mayor fue el impacto cuando se evaluó la intensidad de emisión expresada en relación a la ganancia de peso vivo, la cual fue casi dos

veces menor en el grupo de baja fibra al compararse con el de alta fibra (327 vs 632 g CH<sub>4</sub>/kg PV).

En el párrafo anterior se discutió la variación en el nivel de ingesta como consecuencia de la modificación en la cantidad de fibra. A continuación, se reflejan resultados del impacto de dietas con alta calidad vs dietas degradadas (campo natural), reflejado como g de CH<sub>4</sub>/ kg de materia seca ingerida (MSI). En un estudio llevado a cabo por el INIA en bovinos de carne de la raza Hereford, se observó que las vaquillonas divididas en dos grupos y alimentadas con diferentes tipos de pasto mostraron variaciones en las emisiones de metano (Ciganda et al., 2016). El grupo 1, que consumió pastura implantada (*Trifolium repens* y *Bromus auleticus*), presentó una mayor ingesta diaria, lo que resultó en una emisión promedio por animal de 168,6 g/d de CH<sub>4</sub>. Por otro lado, el grupo 2, que pastoreaba campo natural degradado (*Cynodon dactylon* y *Lolium multiflorum*), mostró una disminución en las emisiones, con un promedio de 136,4 g/d de CH<sub>4</sub> por animal. Sin embargo la emisión de CH<sub>4</sub> por unidad de alimento ingerido fue 22,9 vs 30,3 g de CH<sub>4</sub>/Kg MSI en el grupo 1 y 2 respectivamente. Las diferencias encontradas coinciden con reportes internacionales que estiman la capacidad de reducir en un 20% las emisiones en g de CH<sub>4</sub>/Kg MSI en rumiantes en condiciones de pastoreo utilizando pasturas de alto nivel nutritivo (Ciganda et al., 2016).

#### **2.4 La raza Wagyu**

La raza Wagyu se introdujo en Uruguay en el año 2000 con el objetivo de ofrecer un producto diferenciado en cuanto a la calidad de carne. Actualmente, se estima que existen más de 1800 animales puros y 15.000 animales cruza en el país, incluyendo ½ sangre hasta animales casi puros (7/8) (Mazolla, 2022). Esta raza presenta características llamativas tales como el bajo peso al nacer, precocidad sexual y alta fertilidad. Por otra parte, tiene la habilidad genética de generar altos niveles de grasa intramuscular, que, a diferencia de la generada por otras razas, es muy saludable, conteniendo más ácidos grasos mono insaturados que saturados siendo más benéficas para la salud humana (Estancias del Valle, s.f.).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se realizó en la cabaña “El Oriental” ubicada próximo a la ciudad de Mercedes, en Uruguay donde utilizaron 32 novillos de la raza Wagyu puros en un sistema de confinamiento.

Las mediciones de emisiones de metano por animal se realizaron utilizando la técnica de Laser Methane Detection (LMD).

El dispositivo LMD emplea espectroscopia de absorción infrarroja utilizando un láser semiconductor como fuente colimada. La concentración de CH<sub>4</sub> entre el LMD y el objetivo se mide mediante la detección de una fracción del haz reflejado difusamente. Los resultados se expresan como densidad de columna de CH<sub>4</sub> (ppm x m), o sea, una acumulación de CH<sub>4</sub> a lo largo de la trayectoria del láser o la concentración media de CH<sub>4</sub> (ppm) multiplicada por la longitud de la trayectoria (m). El LMD mide CH<sub>4</sub> en el rango de 1 a 50.000 ppm m (hasta 5 vol-%) con una precisión del 10%. Este es un método que no permite medir volumen.

El procedimiento consiste en colocar cada animal en el cepo para fijar la cabeza en una posición garantizando una medición constante. Se tomó una distancia de 1 metro y se sostuvo el LMD con la mano enfocada en el área alrededor de las fosas nasales durante 2 minutos. Aquellas determinaciones que necesitaron guardar otra distancia fueron corregidas posteriormente.

#### **3.1 Población de estudio**

En el presente trabajo se seleccionó una muestra de 32 novillos de raza Wagyu pura para participar en el estudio. Estos animales fueron divididos equitativamente en cuatro grupos de 8 individuos cada uno.

#### **3.2 Diseño experimental y tratamiento**

Los novillos fueron sometidos a un confinamiento y divididos en cuatro tratamientos:

1. Tratamiento dieta húmeda: Novillos alimentados con la misma dieta que tenían antes del inicio del estudio.
2. Tratamiento dieta húmeda (Replicado): Segundo grupo de novillos alimentados con la misma dieta que tenían antes del inicio del estudio.
3. Tratamiento dieta alta en lípidos: Novillos alimentados con una dieta con inclusión de lípidos.

4. Tratamiento dieta seca: Novillos alimentados con dietas con menor % de agua y sin adición de lípidos.

### 3.3 Composición de la dieta

En la sección anterior los novillos fueron divididos en 4 tratamientos y alimentados con las tres dietas que se presentan en el cuadro uno.

#### Cuadro 1

*Composición de las dietas utilizadas como alimento para los novillos Wagyu en los cuatro tratamientos*

	Dieta húmeda	Dieta seca alta en lípidos	Dieta seca
Tratamiento	1 y 2	3	4
<b>PB</b>	13,50%	13,54%	13,92%
<b>RDP (%MS)</b>	8,80%	7,30%	8,10%
<b>FDN</b>	21,81%	14,16%	16,02%
<b>FDNe (%MS)</b>	9,80%	3,30%	3,40%
<b>EE</b>	3,27%	9,24%	4,24%

*Nota.* PB proteína bruta, RDP proteína degradable en rumen, FDN fibra detergente neutro, FDNe Fibra detergente neutro efectiva, EE extracto etéreo.

La dieta húmeda presenta la mayor proporción de fibra detergente neutro (FDN) y menor extracto etéreo (EE). Por otra parte, la dieta alta en lípidos presenta el mayor porcentaje de EE y la menor proporción de FDN.

### 3.4 Condiciones de confinamiento

Los novillos fueron mantenidos en condiciones de confinamiento controladas durante 85 días, asegurando un ambiente uniforme en términos de temperatura, humedad y ventilación. Se midió el consumo de alimento mediante el uso de un comedero automático de registro individual por tratamiento; esta medida forma parte de otro trabajo experimental por lo que no se presenta en este estudio pero podría contribuir a interpretación de resultados en forma conjunta. Además los animales se encontraban bajo sombra artificial, en una superficie de 17,5 m<sup>2</sup>/ animal.

### 3.5 Procedimiento medición de metano técnica LMD

La técnica LMD consiste en la determinación de las emisiones de metano mediante un dispositivo laser, como se mencionó anteriormente se basa en la espectroscopia de absorción de infrarrojos y fue originalmente desarrollado para industrias. El dispositivo utilizado en la cabaña "El Oriental" es el que se muestra en la figura 1.

## Figura 1

*Dispositivo LMD utilizado en la medición de las emisiones de CH<sub>4</sub> en novillos Wagyu*



Cada novillo fue sometido a mediciones de metano utilizando el LMD en dos momentos:

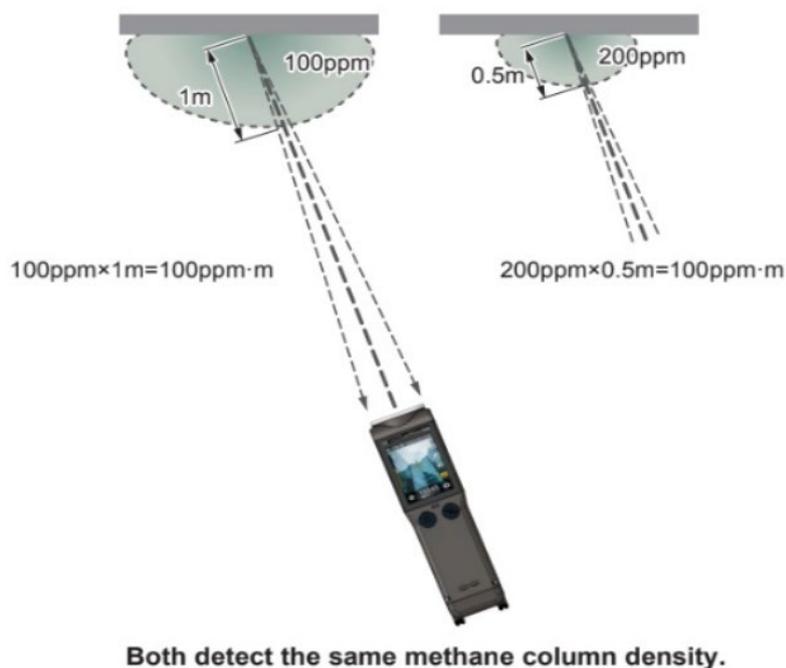
1. Antes de ingresar a los tratamientos.
2. 85 días de comenzado los tratamientos.

Se registraron mediciones de metano a 1 metro de distancia de cada animal, durante un período de 2 minutos para cada novillo en cada uno de los dos momentos de medición especificados.

Los datos tomados a distancias mayores o menores a 1 metro se corrigieron ajustando todas las medidas a un metro de distancia como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2**

*Esquematación de la determinación de metano a diferentes distancias del animal*



*Nota.* Tomado de Tokyo Gas Engineering Solution Corporation (2023).

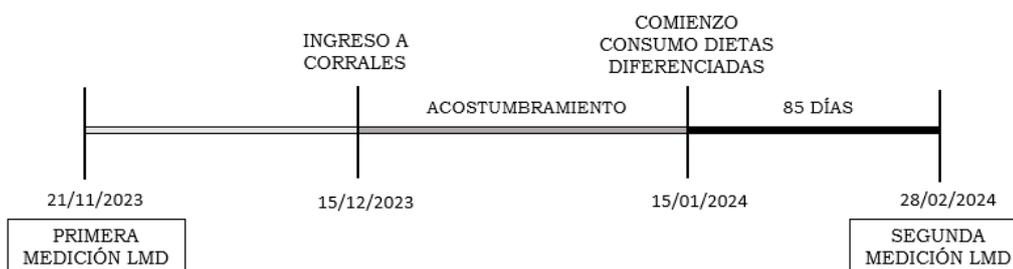
### 3.6 Registro de datos y análisis estadístico

Todos los datos recopilados, incluyendo las concentraciones de metano y los tratamientos correspondientes, fueron registrados y almacenados de manera sistemática.

Se llevó a cabo un análisis de varianza con el fin de estudiar el efecto de los tratamientos sobre las emisiones de metano. Se realizó antes de comenzar las dietas y luego de 85 días de su aplicación. (Cuadro 4 y 6)

**Figura 3**

*Esquema representativo de las determinaciones en la práctica del experimento*



La primera medición con el dispositivo LMD fue tomada 25 días previos al ingreso de los animales al corral. Una vez ingresados al corral se dividieron en 4 tratamientos de 8 animales los cuales permanecieron un mes en etapa de acostumbramiento. El 15 de enero del 2024 se comenzó a suministrar las dietas de tratamientos diferenciales y a los 85 días transcurridos se tomó la segunda medida.

El análisis consideró un arreglo de medidas repetidas en el tiempo, dada la cantidad de determinaciones por animal en cada momento medido (1 registro cada medio segundo durante dos minutos).

Posteriormente para evaluar los datos se decidió eliminar los picos de eructación como se explica a continuación.

Se definió como picos a los datos que se encontraban un desvío estándar (14.2 ppm/m) por encima de la media general (5.3 ppm/m). Por lo tanto, los datos mayores a 20 ppm/m definen el grupo picos y los datos entre 0 - 20 ppm/m el grupo sin picos (Cuadro 2).

## Cuadro 2

*Valores de máximo, mínimo, desvío y cantidad de datos correspondiente a picos y no picos*

	PROMEDIO (ppm/m)	MÁXIMO (ppm/m)	MÍNIMO (ppm/m)	DESVÍO	NÚMERO DE DATOS	%
PICOS SI	83,4	876,0	20,3	146,0	108,0	1,0
PICOS NO	4,8	20,0	0,0	2,7	14987,0	99,0

*Nota.* ppm/m concentración medida en partes por millón por cada metro lineal.

Esta separación permite identificar eventos explicados por eructación versus eventos de respiración. El metano generado en el rumen y el intestino inferior viaja a través de la sangre hasta los pulmones y se expulsa al respirar. Una pequeña cantidad de CH<sub>4</sub> se libera directamente del rumen mediante eructos, siendo inhalado nuevamente hacia los pulmones y exhalado con cada ciclo respiratorio. Solo el 2 al 3% del CH<sub>4</sub> producido se elimina a través de flatos.

A modo de análisis se utilizó únicamente las medidas sin picos. La decisión se tomó por el alto desvío de los mismos y el bajo porcentaje que representan (1.0 %).

Posteriormente, los tratamientos fueron comparados mediante test de Tukey ajustado. Para estos estudios fueron utilizados los procedimientos GLM y MIXED del programa SAS (V 9.4).

#### **4. RESULTADOS**

A partir de los datos recabados y aplicando las metodologías descritas, se calcularon para cada uno de los tratamientos medidas de posición y dispersión las cuales permiten explicar información resumida de la variable en estudio (emisión de metano en ppm/m). A continuación, en los cuadros (3, 4, 5, 6) y figuras (3, 4, 5,6) se exponen los resultados.

El cuadro 3 presenta los resultados de la medición uno realizada con el equipo LMD expresada en ppm/m de CH<sub>4</sub> en la estancia “El Oriental” previo al ingreso a cada tratamiento. Los tratamientos se definieron según la dieta elegida las cuales se diferenciaban en contenido de humedad y proporción de lípidos. Se calcularon la media, desviación estándar y coeficiente de variación.

##### **Cuadro 3**

*Producción promedio de metano previo al comienzo de la aplicación de tratamientos nutricionales diferentes*

<b>Media (ppm/m)</b>	<b>Desvio estándar</b>	<b>CV (%)</b>
5,2	3,0	58

*Nota.* ppm/m concentración medida en partes por millón por cada metro lineal, CV coeficiente de variación.

A partir de la media de cada grupo previamente a la asignación de tratamientos (cuadro 4) se realizó un análisis de varianza (ANOVA) (cuadro 5), para asegurar neutralidad a la hora de ingresar a los tratamientos.

**Cuadro 4**

*Producción de metano por grupo previo a la aplicación de los tratamientos alimenticios*

Tratamiento	Medida	Media (ppm/m)	Desvio		CV (%)
Sin tratamiento	1	5,8	3,2	ns	55
	1	4,7	3,1	ns	66
	1	5,7	2,8	ns	50
	1	4,5	2,8	ns	62

*Nota.* ppm/m concentración medida en partes por millón por cada metro lineal Medida 1; previo a la aplicación de los tratamientos.

**Cuadro 5**

*Resultado ANOVA realizado sobre la producción de metano previo a la aplicación de los tratamientos*

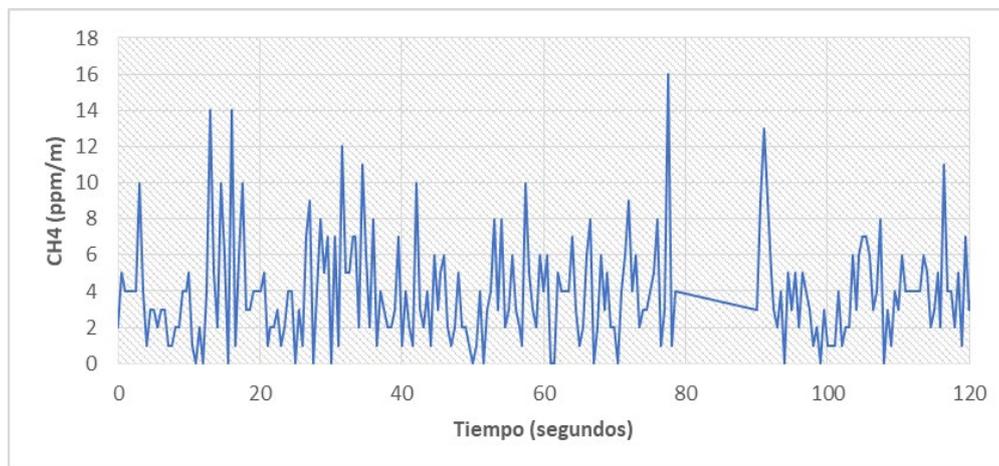
Efecto	Grados de libertad	Pr>F
Tratamiento	2	0,1812

No se observaron efectos significativos entre las emisiones de metano de los novillos Wagyu previo al inicio de los tratamientos nutricionales diferentes. Esto comprueba que se partió de un grupo de animales con similares condiciones. Cabe aclarar que todos los animales previo a la diferenciación de tratamientos se encontraban en un corral con la misma dieta (húmeda). Siendo Pr la probabilidad de error de tipo 1 que se comete al rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto no se puede afirmar que alguna de las medias de los cuatro experimentos difiere estadísticamente del resto.

Se expone a continuación el resultado de gráficas con las determinaciones realizadas a partir de los datos medidos con el dispositivo LMD, para la medida 1.

#### Figura 4

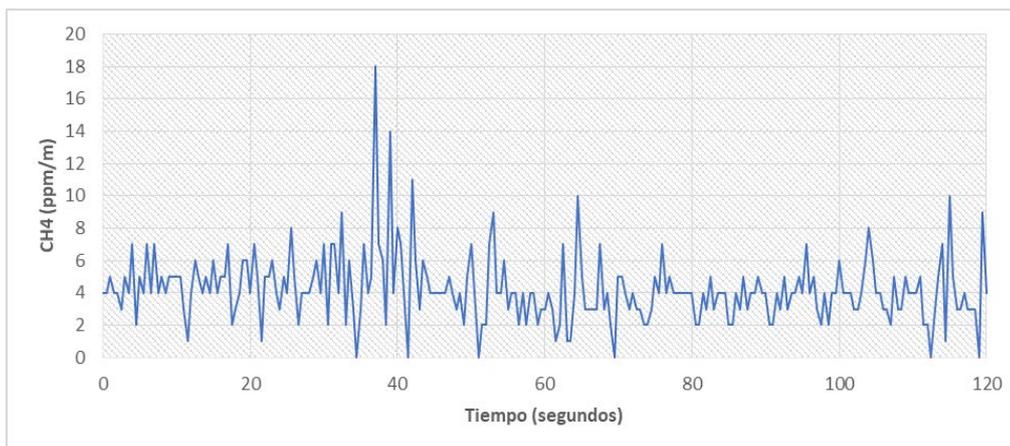
*Ejemplo 1 de la dispersión entre las variables CH4 (ppm/m) y tiempo (segundos) en la primera medida*



*Nota.* ppm/m concentración medida en partes por millón por cada metro lineal.

#### Figura 5

*Ejemplo 2 de la dispersión entre la variable CH4 (ppm/m) y tiempo (segundos) en la primer medida*



*Nota.* ppm/m concentración medida en partes por millón por cada metro lineal.

Se visualizan algunos episodios esporádicos de concentración elevada de CH4 (ejemplo 18 ppm/m a los 36 segundos) en el ciclo de exhalación e inhalación.

A continuación, se presentan los resultados de la medida dos. En este punto habían transcurrido 85 días desde la diferenciación de los animales en cuatro tratamientos. En el cuadro 6 se muestra la media, desvío estándar y coeficiente de variación.

### Cuadro 6

*Producción de metano posterior a la aplicación de los tratamientos alimenticios*

Tratamiento	Medida	Media (ppm/m)	Desvio estándar		CV (%)
Dieta húmeda	2	3,7	1,9	b	53
Dieta húmeda	2	3,0	1,7	b	55
Dieta seca alta en lípidos	2	4,9	2,1	a	44
Dieta seca	2	6,0	2,5	a	42

*Nota.* ppm/m concentración medida en partes por millón por cada metro lineal Medida 1 previo a la aplicación de los tratamientos.

Se verificó que el coeficiente de variación, la medida más adecuada en este caso para evaluar la dispersión de los datos, disminuye en todos los tratamientos si se compara la primera y segunda medida. (Cuadro 4 y 6).

Por otra parte, en la segunda medida se volvió a evaluar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos.

### Cuadro 7

*Resultado ANOVA realizado sobre la producción de metano posterior a la aplicación de los tratamientos*

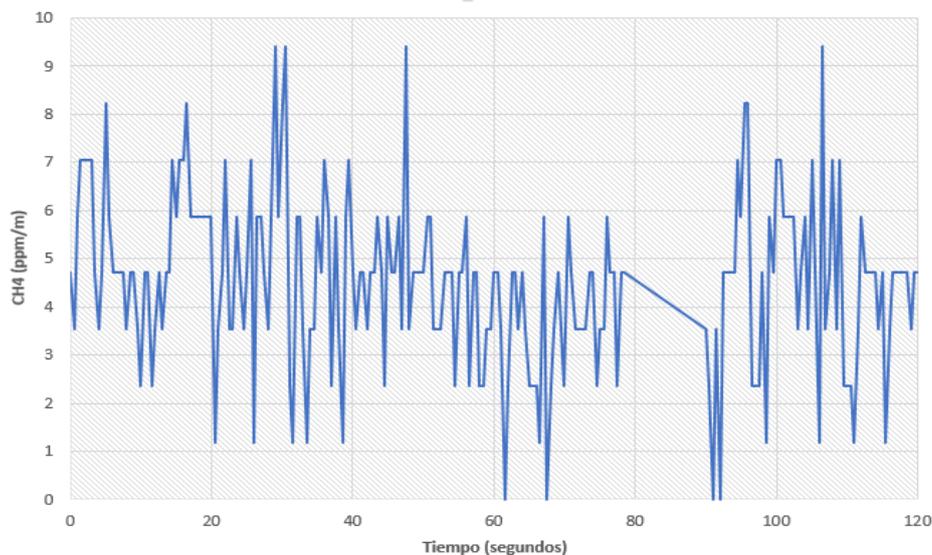
Efecto	Grados de libertad	Pr>F
Tratamiento	2	0,036

Evaluando la medida dos, con la herramienta de análisis de datos, ANOVA, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Junto con dicho análisis se realizó la prueba de Tukey (cuadro 6) para evaluar cuales difieren. Como se observa en las letras los que se diferenciaron significativamente fueron los tratamientos de dieta húmeda versus seca y no entre sí.

Se expone a continuación el resultado de gráficas realizadas a partir de los registros obtenidos en la medida 2 (Figura 6 y 7).

## Figura 6

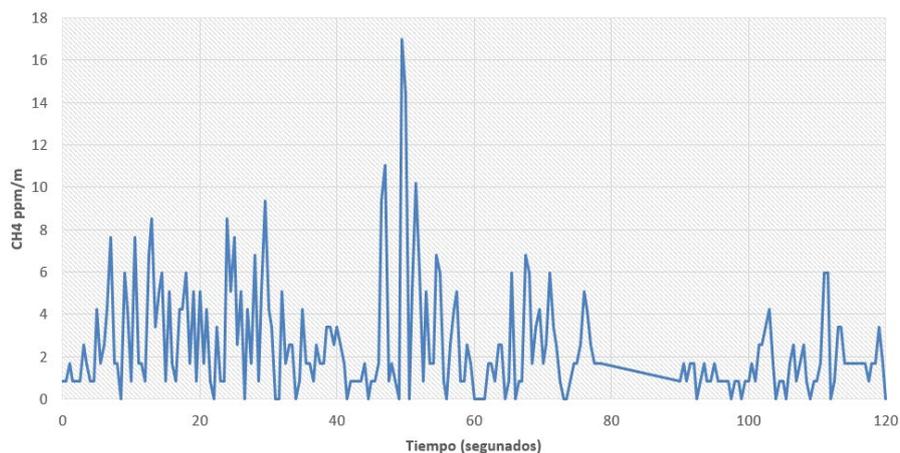
*Ejemplo 1 de la dispersión entre las variables CH<sub>4</sub> (ppm/m) y tiempo (segundos) en la segunda medida*



*Nota.* ppm/m concentración medida en partes por millón por cada metro lineal.

## Figura 7

*Ejemplo 2 de la dispersión entre la variable CH<sub>4</sub> (ppm/m) y tiempo (segundos) en la segunda medida*



*Nota.* ppm/m concentración medida en partes por millón por cada metro lineal.

Como se observa en el cuadro 8 los tratamientos 1 y 2 que en su dieta presentaban mayor proporción de FDN y menor de EE emitieron menor concentración de metano en partes por millón por metro. En contraste el que más concentración emitió fue el tratamiento 4 que en la composición de la dieta presentaba una menor fracción de FDN y mayor de EE, que los tratamientos 1 y 2.

### Cuadro 8

*Relación entre el % de FDN, EE y las emisiones en ppm/m en cada tratamiento*

Tratamiento	Composición de la dieta		Emisiones (ppm/m)
	FDN	EE	
Dieta húmeda	21,81%	3,27%	3,7
Dieta húmeda	21,81%	3,27%	3
Dieta seca alta en lípidos	14,16%	9,24%	4,9
Dieta seca	16,02%	4,24%	6

*Nota.* FDN fibra detergente neutro, EE extracto etéreo, ppm/m concentración medida en partes por millón por cada metro lineal.

En relación a la composición de la dieta y la emisión de metano, en este experimento resultó que los animales consumiendo dietas con una alta proporción de FDN (21,8%) y bajo EE (3,27%) emitieron una concentración de metano de 3 y 3,7 ppm/m (dieta húmeda). En comparación con dieta seca compuesta con una menor proporción de FDN (14%, 16%) y mayor EE (9,24%) en las cuales los animales emitieron 4,9 y 6 ppm/m.

En el cuadro 9 se muestran los resultados del peso inicial, peso final y ganancia de peso, del total de los animales. Los momentos se definieron al ingreso de los animales a sus respectivos tratamientos y nuevamente después de 85 días transcurridos.

### Cuadro 9

*Resultado del peso (kg) en inicio y fin de los tratamientos, incluyendo animales que perdieron peso*

Tratamiento	Peso promedio (Kg) Inicio	Peso promedio (Kg) Fin	Ganancia promedio (kg)
Dieta húmeda	576	581	5
Dieta húmeda	578	615	37
Dieta seca alta en lípidos	580	601	21
Dieta seca	580	592	12

Luego se realizó el mismo análisis en este caso no se consideraron los animales que habían perdido peso entre inicio y fin (cuadro 10). Se identificaron los siguientes animales; 3 (dieta húmeda), 1 (dieta húmeda repetición) y 2 (dieta seca). En la dieta seca alta en lípidos no se presentó ningún animal que haya perdido peso.

**Cuadro 10**

*Resultado de la evaluación del peso en inicio y fin, únicamente para animales que ganaron peso*

Tratamiento	Peso promedio (Kg) Inicio	Peso promedio (Kg) Fin	Ganancia promedio (kg)
<b>Dieta húmeda</b>	572	597	24
<b>Dieta húmeda</b>	583	628	46
<b>Dieta seca alta en lípidos</b>	580	601	21
<b>Dieta seca</b>	579	595	15

A partir de la información del cuadro 10, donde se encuentran las ganancias de pesos se procedió a relacionarlo con la emisión de metano en ppm/m. Se tomó la ganancia y se dividió sobre las ppm/m resultado de la segunda medida para cada animal.

**Cuadro 11**

*Resultado de emisiones de metano ppm/m en relación a kg ganados*

Dieta húmeda	Dieta húmeda	Dieta seca lípidos	Dieta seca
ppm/m/Kg ganado			
0,234	0,085	0,264	0,432
ns	ns	ns	ns

**Cuadro 12**

*Resultados ANOVA sobre las emisiones de metano ppm/m por kg ganado*

Efecto	Grados de libertad	Pr>F
Tratamiento	2	0,23

Como se visualiza en el cuadro 12, se realizó análisis de varianza y no se encontraron diferencias significativas entre las medias de los diferentes tratamientos.

Además, se realizó un test de correlación de Pearson y se encontró que la correlación entre la ganancia diaria (kg) y las emisiones de metano (ppm/m/kg ganado) fue 0.08. Este resultado indica que para nuestro diseño experimental son variables independientes.

## **5. DISCUSIÓN**

En este capítulo se evalúan las relaciones entre los resultados y la información previamente recopilada de la bibliografía. Se discuten las posibles limitaciones, y se exploran las implicaciones prácticas de los hallazgos. Este análisis busca enriquecer la comprensión de los resultados y su relevancia tanto teórica como práctica, impulsando así el avance del conocimiento en el área de estudio.

En primer lugar, tal como era esperado, se observaron diferencias significativas en emisiones de CH<sub>4</sub> entre ciertas dietas. De todas maneras, el efecto de la adición de lípidos no afectó significativamente dentro de la dieta seca. Con respecto a la ganancia de peso no se correlacionó con la emisión de CH<sub>4</sub>, además de no diferenciarse estadísticamente entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ).

Con respecto a la precisión del método, dado que se realizaron únicamente dos mediciones por animal durante 2 minutos con un intervalo de 85 días, la influencia del ambiente cobra gran importancia como variable de estudio. Como detalla Teeranavattanakul (2010) la velocidad del viento, humedad relativa, la presión y la dirección del viento tienen efectos significativos en la concentración resultante de CH<sub>4</sub> ( $P < 0,001$ ). Este autor también acota que la velocidad del viento tiene una correlación negativa con la medición de metano ( $r = -0,41$ ,  $P < 0,001$ ), demostrando la influencia de algunos factores ambientales en las determinaciones mediante este método. Otra variable se puede atribuir al momento del día en el cual se toma la medición. El resultado presenta variaciones si realiza la medición antes o después de una sesión de consumo. Sorg et al. (2017) sostienen que la técnica LMD presenta diferencias en ppm/m causado por eventos de alimentación, se detectó variación en los resultados medidos pre o post consumo de alimento. No obstante, en este trabajo la determinación no abarcó estos factores

Con respecto al método de medición LMD, Chagunda y Yan (2011) encontraron un coeficiente de correlación alto y positivo ( $r = 0,8$ ,  $P < 0,001$ ) entre el LMD y la cámara calorimétrica de respiración indirecta de circuito abierto (RC). Sorg et al. (2018) afirman que el método LMD permitió clasificar a las vacas según emisiones de metano de manera muy similar al sistema Green Feed y 2 sensores infrarrojos diferentes. En contraposición, Denninger et al. (2020) en su estudio sobre vacas lecheras no encontraron correlación de ninguna de las mediciones de LMD con datos de RC, a pesar de repetir las mediciones durante 3 días.

El experimento reveló que los animales alimentados con dietas altas en fibra y bajas en grasa presentaron menores emisiones de metano, mientras que cuando fueron alimentados con dietas de baja fibra y alta grasa las emisiones fueron mayores (concentración en ppm/m). Estos hallazgos coinciden con un estudio realizado por Santander et al. (2022), mencionado en la revisión bibliográfica, que indica que los animales del grupo baja fibra presentaron mayores emisiones (g/d de CH<sub>4</sub>) a consecuencia de mayor consumo y concentración de energía en la dieta.

Por otra parte, se estudiaron las relaciones entre las emisiones de metano con la ganancia de peso, observando ausencia de correlación entre ganancia (kg) y emisiones de CH<sub>4</sub> (ppm/m). En un estudio realizado por Kobayashi et al. (2021) en el cual se estudiaron relaciones entre las emisiones de metano con la producción de leche, no observaron correlación en la producción de leche y emisiones de metano. En ambos estudios es coincidente el hecho de que las emisiones de metano se comportaran como variables independientes de la ganancia de peso y la producción de leche.

Las principales limitantes que presentó el experimento fueron el número de mediciones y la falta de continuidad de las mismas, además ocurrió pérdida de peso en tres de los cuatro tratamientos. Se eliminaron animales que no obtuvieron ganancia. Estas pérdidas de peso podrían deberse a posible competencia entre algunos animales, en donde los dominantes consumen durante más tiempo e impiden que los demás accedan al comedero. Estos comederos, si bien permiten la alimentación de 4 animales, solamente uno de ellos puede ingresar al mismo.

No obstante, aun considerando la variabilidad que presentaron las determinaciones de las emisiones de metano con este método (LMD) entre distintos sistemas de producción, el hecho de que haya sido útil en ciertas circunstancias posiciona al método como una opción posible de utilizar en estos sistemas. Sin embargo, deben considerarse las limitaciones que presenta con respecto a la influencia de las condiciones ambientales, siendo necesarios más estudios para aumentar la precisión de las lecturas obtenidas. Este trabajo consistió en un ensayo inicial de testeo del método LMD, en donde se pudo comprobar la sencillez de su implementación y la ventaja de ser un método no invasivo para el animal. Finalmente, en base a los resultados obtenidos se infiere la importancia de la obtención de estas medidas, en especial incrementando el número de repeticiones por día, así como en el número de días consecutivos de medición.

## **6. CONCLUSIONES**

La determinación de metano mediante LMD presenta alta practicidad además de ser un método no invasivo.

Se puede concluir con el experimento realizado que novillos Wagyu alimentados con dieta seca (baja en fibra) emitieron mayor concentración medida en ppm/m de metano versus la dieta húmeda (alta en fibra).

La adición de lípidos en la dieta seca no tuvo incidencia sobre las emisiones de metano, comparada con la dieta seca sin lípidos. No obstante, si se diferencia al comparar con la dieta húmeda.

No existió correlación entre la ganancia de peso y las emisiones de metano.

En base a las limitaciones observadas en este trabajo, futuros experimentos deberían aumentar el número de determinaciones con el fin de obtener resultados más precisos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Becoña, G. (2022). *Factores de emisión y coeficientes para estudios de huella de carbono en Uruguay: Sector ganadero: Manual de consulta*. INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/Libro-huella-de-carbono.pdf>
- Chagunda, M. G. G., & Yan, T. (2011). Do methane measurements from laser detector and an indirect open-circuit respiration calorimetric chamber agree sufficiently closely? *Animal Feed Science and Technology*, 165(1-2), 8-14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840111000484>
- Ciganda, V., Dini, Y., Romero, C., Mariotta, J., & Cajarville, C. (2016). Emisiones de metano entérico en bovinos de carne bajo condiciones representativas de pastoreo en Uruguay: Pasturas implantadas vs. campo natural degradado. *Revista INIA*, (45), 49-52. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5801/1/Revista-INIA-Uruguay.-n.-45.-p.-49-52.-2016.pdf>
- CLEAR Center at UC Davis. (2020). *Rethinking Methane* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=UOPrF8oyDYw&t=153s>
- Denninger, T. M., Schwarm, A., Dohme-Meier, F., Münger, A., Bapst, B., Wegmann, S., Grandl, F., Vanlierde, A., Sorg, D., Ortmann, S., Clauss, M., & Kreuzer, M. (2020). Accuracy of methane emissions predicted from milk mid-infrared spectra and measured by laser methane detectors in Brown Swiss dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1049-2040. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17101>
- Estancias del Valle. (s.f.). *La raza*. <https://www.wagyu.uy/index.php/es/wagyu/la-raza.html>
- Hristov, A. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., & Tricarico, J. M. (2013). Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5045-5069. <https://doi.org/10.2527/JAS.2013-6583>
- Jonker, A., Molano, G., Koolaard, J., & Muetzel, S. (2017). Methane emissions from lactating and non-lactating dairy cows and growing cattle fed fresh pasture. *Animal Production Science*, 57(4), 643-648. <https://doi.org/10.1071/AN15656>

- Kobayashi, N., Hou, F., Tsunekawa, A., Yan, T., Tegegne, F., Tassew, A., Mekuriaw, Y., Mekuriaw, S., Hunegnaw, B., Mekonnen, W., & Ichinohe, T. (2021). Laser methane detector-based quantification of methane emissions from indoor-fed Fogera dairy cows. *Animal Bioscience*, 34(8), 1415-1424. <https://doi.org/10.5713/ab.20.0739>
- Kupers, R., Zavala-Araiza, D., Ferrini, G., Schwietzke, S., Tullos, E., Randles, C., France, J., Guanter, L., Caltagirone, M., Demeter, M., & Baranski, M. (2022). *An eye on methane: International methane emissions observatory 2022 report*. UNEP. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/40864>
- Mazolla, M. (2022). Apuntes sobre Wagyu en Uruguay. *Revista Plan Agropecuario*, (183), 16-18.
- Ministerio de Ambiente. (2022). *Segunda contribución determinada a nivel nacional al Acuerdo de París*. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/noticias/2022.12.29%20-%20Segunda%20CDN%20%2B%20Segunda%20ComAd%20%28Uruguay%29.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. (2019). *Quinta Comunicación Nacional a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. [https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Comunicaci%C3%B3n%20Nacional%205%20%282019%29\\_compressed%20%281%29.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Comunicaci%C3%B3n%20Nacional%205%20%282019%29_compressed%20%281%29.pdf)
- Naciones Unidas. (2021, 6 de mayo). *Reducir las emisiones de metano un 45% en 10 años es factible y crucial para frenar el cambio climático*. <https://news.un.org/es/story/2021/05/1491742>
- National Aeronautics and Space Administration. (2023). *Temperatura global*. <https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/temperatura-global>
- Ramírez, F., Posada, S., & Noguera, R. (2014). Metanogénesis ruminal y estrategias para su mitigación. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 9(2), 307-323. <http://www.scielo.org.co/pdf/cmzv/v9n2/v9n2a14.pdf>

- Santander, D., Clariget, J., Banchemo, G., Simón, C., Mariotta, J., & Ciganda, V. (2022). Emisiones de metano de novillos en fase de terminación alimentados con dietas contrastantes en los niveles de fibra. *Revista INIA*, (68), 84-87.  
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/Revista-INIA-68-Marzo-2022-17.pdf>
- Sorg, D., Difford, G. F., Mühlbach, S., Kuhla, B., Swalve, H. H., Lassen, J., Strabel, T., & Pszczola, M. (2018). Comparison of a laser methane detector with the GreenFeed and two breath analysers for on-farm measurements of methane emissions from dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 285-294.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.024>
- Sorg, D., Mühlbach, S., Rosner, F., Kuhla, B., Derno, M., Meese, S., Schwarm, A., Kreuzer, M., & Swalve, H. (2017). The agreement between two next-generation laser methane detectors and respiration chamber facilities in recording methane concentrations in the spent air produced by dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 262-272.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.10.024>
- Teeranavattanakul, P. (2010). *An investigation of factors affecting Laser Methane Detector measurements under outdoor conditions* [Tesis de maestría]. University of Glasgow.
- Thompson, L. R., & Rowntree, J. E. (2020). Invited review: Methane sources, quantification, and mitigation in grazing beef systems. *Applied Animal Science*, 36(4), 556-573. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01951>
- Tokyo Gas Engineering Solution Corporation. (2023). *LaserMethaneSmart: Laser flammable gas detector LM2B03N-SBA (Bluetooth enabled) LM2B03N-SNA (Bluetooth less): Operating instructions*.  
<https://www.esaisistemas.pt/wp-content/uploads/2023/03/LM-S-manual-NON-EXPLOSION-PROOF-English.pdf>
- United Nations Environment Programme, & Climate and Clean Air Coalition (2021). *Global methane assessment: Summary for decision makers*.  
[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf)
- Uruguay XXI. (2022). *Sector Ganadero en Uruguay*.  
<https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/b28305203e10f6d7bb3689eb619160dd922b2036.pdf>