



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



Facultad de Veterinaria  
Universidad de la República  
Uruguay

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE VETERINARIA

**EVALUACION DE LA EMISION DE METANO EN OVINOS EN CORRAL Y  
PASTOREO**

**por**

ALONSO MOTTA, Juan Luis  
GOMENSORO MONTALDO, Florencia

TESIS DE GRADO presentada como  
uno de los requisitos para obtener el  
título de Doctor en Ciencias  
Veterinarias

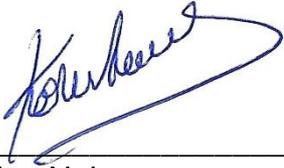
Orientación: Producción Animal

Modalidad: Ensayo Experimental

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2025

**PAGINA DE APROBACION**

**Presidente de mesa:**



Karina Neimaur

**Segundo miembro (Tutor):**



Ignacio De Barbieri

**Tercer miembro:**



Álvaro Santana

**Co-tutor/es:**



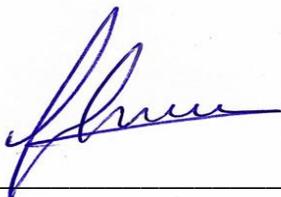
Gabriel Ciappesoni



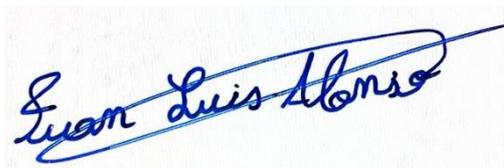
Zully Ramos

Fecha: 21 de Marzo, 2025

**Autores:**



Florencia Gomensoro



Juan Luis Alonso

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecemos a nuestras familias y amigos, por acompañarnos en toda la carrera y más que nada por el apoyo en el proceso del último escalón de la carrera, que es la tesis de grado.

Agradecemos a nuestro tutor el Ing. Agr. Ignacio de Barbieri y co-tutores Ing. Agr. Gabriel Ciappesoni y Dra. Zully Ramos, por su tutoría y colaboración.

También agradecer al Dr. Jean Savian por sus aportes de gran valor en el desarrollo del diseño experimental.

Al personal de INIA La Magnolia, por la colaboración, compartir su conocimiento y la disponibilidad continua de colaboración en los cuatro meses de tesis. En especial agradecer a Fernando Rovira, Braian Rodriguez y Pablo Lorenze por la ayuda en el trabajo de campo y en el procesamiento de muestras.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>PAGINA DE APROBACION.....</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DE TABLAS Y FIGURAS .....</b>	<b>4</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>9</b>
2.1. <i>Merino Dohne</i> .....	9
2.2. <i>Emisión de Metano</i> .....	9
2.2.1. Métodos para estimar las emisiones de CH <sub>4</sub> de rumiantes .....	11
2.2.2. Mejora genética: herramienta para mitigar las emisiones .....	12
2.2.3. Alimentación y su efecto sobre la emisión de metano: .....	13
2.3. <i>Eficiencia de conversión</i> .....	15
<b>3. HIPOTESIS .....</b>	<b>16</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
5.1. <i>Animales:</i> .....	16
5.2. <i>Diseño experimental:</i> .....	16
5.3. <i>Manejo:</i> .....	18
5.4. <i>Definición de variables</i> .....	19
5.5. <i>Cálculos - estadística</i> .....	25
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
6.1. <i>Caracterización de la pastura y animales utilizados</i> .....	26
6.2. <i>Estadística descriptiva de características en los animales</i> .....	27
6.3. <i>Asociación entre variables</i> .....	28
6.4. <i>Asociación entre la emisión de metano a corral y a pastoreo</i> .....	31
<b>7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>34</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>36</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

### Tablas:

<b>Tabla 1.</b> Composición morfológica y composición química del forraje ofrecido en el corral a las corderas. ....	26
<b>Tabla 2.</b> Características estructurales, composición morfológica y composición química del <b>campo natural</b> ofrecido a las corderas.....	27
<b>Tabla 3.</b> Variables estudiadas en el período en el corral .....	27
<b>Tabla 4.</b> Variables estudiadas en el período en campo natural.....	28
<b>Tabla 5.</b> Correlaciones (y probabilidad, segunda línea) Pearson y Spearman entre las variables de las corderas durante la etapa de corral y en pastoreo. En negrita se destacan las correlaciones significativamente diferentes de 0. ....	29
<b>Tabla 6.</b> Correlación de Pearson y Spearman entre las variables de las corderas alimentadas a corral y a pastoreo por turnos. En negrita se destacan las correlaciones significativamente diferentes de 0. ....	30
<b>Tabla 7.</b> Tabla de contingencia comparando emisión de metano a corral y a pastoreo.....	31
<b>Tabla 8.</b> Correlación de Pearson y Spearman entre las variables de las corderas alimentadas a corral y a pastoreo en el turno 1. En negrita se destacan las correlaciones significativas diferentes de 0. ....	42
<b>Tabla 9.</b> Correlación de Pearson y Spearman entre las variables de las corderas alimentadas a corral y a pastoreo en el turno 2. En negrita se destacan las correlaciones significativas diferentes de 0. ....	42
<b>Tabla 10.</b> Correlación de Pearson y Spearman entre las variables de las corderas alimentadas a corral y a pastoreo en el turno 3. En negrita se destacan las correlaciones significativas diferentes de 0. ....	43

### Figuras:

<b>Figura 1.</b> Línea del tiempo de prueba a corral. ....	17
<b>Figura 2.</b> Línea del tiempo de prueba a pastoreo. ....	17
<b>Figura 3.</b> Corral de fenotipado en ULEM en el cual se hizo toda la parte práctica de las corderas a corral por un período de 56 días. ....	18
<b>Figura 4.</b> Bebederos con balanzas automáticas .....	20
<b>Figura 5.</b> Comederos de autoconsumo.....	20
<b>Figura 6.</b> Corderas a pastoreo en ULEM .....	21
<b>Figura 7.</b> Cámara de acumulación portátil identificadas con números para facilitar la medición .....	23
<b>Figura 8.</b> Juan realizando la medición de metano en PAC .....	23
<b>Figura 9.</b> Las corderas del grupo azul, pintadas en grupos con las diferentes identificaciones en la cruz (derecha) y en el anca (izquierda) .....	24
<b>Figura 10.</b> Precipitaciones y temperatura máxima por semana en la estación INIA La Magnolia .....	24

## RESUMEN

Las emisiones netas de metano representan el 59% de las emisiones totales nacionales contribuyendo relativamente al calentamiento global. En los rumiantes, el metano es uno de los productos derivados de la fermentación ruminal, así como también en menor medida el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La tesis estableció como objetivo estudiar la relación entre las estimaciones de emisión de metano (CH<sub>4</sub>) en pastoreo y corral, usando correlaciones de Pearson y Spearman, y proponer un protocolo para medir estas emisiones en pastoreo. Se trabajó con 65 corderas Dohne nacidas en primavera de 2023, que fueron evaluadas en dos periodos: en corral y en pastoreo, durante 56 días (14 días de adaptación y 42 días de prueba). En corral, las corderas empezaron con un peso de 25 kg, aumentando a 32 kg al final del período, con una ganancia media diaria (GMD) de 0,156 kg y un consumo de 1,14 kg de materia seca/día. La eficiencia de conversión fue 13,68, con emisiones de 14,7 g/día de CH<sub>4</sub> y 707 g/día de CO<sub>2</sub>. En pastoreo, las corderas comenzaron con un peso promedio de 32 kg, pero perdieron peso, quedando en 31 kg al final, con una GMD negativa (-0,020 kg). Las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> fueron 6,6 g/día y 290 g/día, respectivamente. En cuanto a las correlaciones, se encontró una alta correlación positiva entre las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en pastura ( $r = 0,86$ ) y en corral ( $r = 0,68$ ). También se observó una correlación moderada y positiva entre el peso vivo y las emisiones de gases en ambos ambientes, aunque en pastoreo fueron más bajas. La correlación de la emisión de metano entre corral y pastura fue baja ( $r = -0,10$ ). La correlación entre las estimaciones de emisión de metano (CH<sub>4</sub>) en pastoreo y corral, usando correlaciones de Pearson y Spearman, se estudiaron entre turnos de medición. En este análisis se confirma que hay baja correlación entre emisión de CH<sub>4</sub> a corral y a pastoreo. Estos resultados implican que se deben revisar los protocolos para medir y comparar la emisión en corral y en pastoreo, así como considerar una posible interacción genotipo-ambiente.

## SUMMARY

Net methane emissions account for 59% of total national emissions, contributing relatively to global warming. In ruminants, methane is one of the by-products of ruminal fermentation, along with, to a lesser extent, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). The objective of this thesis was to study the relationship between methane (CH<sub>4</sub>) emission estimates in grazing and feedlot conditions using Pearson and Spearman correlations and to propose a protocol for measuring these emissions in grazing systems. The study involved 65 Dohne lambs born in the spring of 2023, evaluated in two periods: in a feedlot and on pasture, over 56 days (14 days of adaptation and 42 days of trial). In the feedlot, the lambs started with an initial weight of 25 kg, increasing to 32 kg by the end of the period, with an average daily gain (ADG) of 0.156 kg and a dry matter intake of 1.14 kg/day. The feed conversion efficiency was 13.68, with emissions of 14.7 g/day of CH<sub>4</sub> and 707 g/day of CO<sub>2</sub>. On pasture, the lambs started with an average weight of 32 kg but lost weight, finishing at 31 kg, with a negative ADG (-0.020 kg). Methane and CO<sub>2</sub> emissions were lower: 6.6 g/day of CH<sub>4</sub> and 290 g/day of CO<sub>2</sub>. Regarding correlations, a high positive correlation was found between CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions on pasture ( $r = 0.86$ ) and in the feedlot ( $r = 0.68$ ). A moderate positive correlation was also observed between live weight and gas emissions in both environments, although emissions were lower on pasture. The correlation between methane emissions in the feedlot and on pasture was low. The correlation between methane (CH<sub>4</sub>) emission estimates in grazing and feedlot conditions, using Pearson and Spearman correlations, was analyzed across measurement periods. This analysis confirms a low correlation between CH<sub>4</sub> emissions in the feedlot and on pasture. These results suggest that protocols for measuring and comparing emissions in feedlot and grazing conditions should be reviewed, as well as the potential genotype-environment interaction considered.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la literatura se reportan múltiples revisiones sobre la producción de metano por los rumiantes, algunas de ellas orientadas a determinar estrategias que permitan reducir las emisiones de metano reconociendo factores del animal (tasa de pasaje, consumo residual), de la dieta (composición, relación forraje: concentrado), inclusión de aditivos (ácidos grasos, taninos purificados) y modificadores de las poblaciones ruminales (ionóforos, vacunas) (Vargas et al., 2012).

En las dos últimas décadas, se han desarrollado varios métodos nuevos para estimar las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) de rumiantes individuales, algunos de ellos basados en la recolección de múltiples muestras puntuales a corto plazo. Estos métodos de muestreo puntual incluyen el sistema GF (Greenfeed), los "olfateadores", los LMD (detector láser de metano) y los PAC (cámara de acumulación portátil). Los cuales están más automatizados, requieren menos mano de obra, y son menos (o nada) invasivos, más sencillos de utilizar y manejar que métodos establecidos como las cámaras de respiración y la técnica del trazador de  $\text{SF}_6$  (Hexafluoruro de azufre) (Jonker & Waghorn, 2020). En el mismo estudio Jonker y Waghorn (2020) muestran que la técnica  $\text{SF}_6$  y el sistema GreenFeed proporcionaron estimaciones para el rendimiento de  $\text{CH}_4$  que no fueron diferentes de los de las cámaras de respiración, y los rendimientos de  $\text{CH}_4$  (g/kg DMI) no se vieron afectados por el nivel de consumo de materia seca (DMI, su sigla en inglés) o la frecuencia de alimentación.

Por otra parte, se ha reportado la existencia de variabilidad para la eficiencia de conversión y emisión de metano entre animales, donde parte de esa variación es heredable. Las heredabilidades estimadas para emisiones de  $\text{CH}_4$  previstas (PME, su sigla en inglés) y consumo residual del alimento (RFI, su sigla en inglés) fueron 0,35 y 0,40, respectivamente (Pickering et al., 2015). Las emisiones de  $\text{CH}_4$  están fuertemente relacionadas con el consumo de alimento tanto a corto plazo (minutos a varias horas) como a medio plazo (días). Por lo que se ha encontrado una relación genética favorable entre el consumo total y residual del alimento (RFI) y la emisión de  $\text{CH}_4$ , con lo cual la selección por animales más eficientes implicaría indirectamente seleccionar animales que emiten menos  $\text{CH}_4$  en términos absolutos o por producto (intensidad de emisión) (De Barbieri et al., 2022; Navajas et al., 2022).

Incluso, se han modelado las consecuencias en la huella de carbono de sistemas ganaderos, en empresas que producen con animales que emiten menos o son más eficientes. Blumetto et al. (2023), en un estudio de simulación utilizando el análisis de ciclo de vida para calcular la huella del carbono en sistemas ganaderos del norte de Uruguay, estimaron descensos entre el 6 y 20 % en la emisión de  $\text{CH}_4$  por kilogramo de lana producido (intensidad de emisión). Por el hecho de modificar el valor genético (DEP) de los animales según su consumo, emisión de  $\text{CH}_4$ , eficiencia de conversión del alimento o producción de lana. Además de la posibilidad de bajar la emisión de  $\text{CH}_4$  por manejo y progreso genético, se indica que estos sistemas ganaderos poseen una alta reserva de carbono en el suelo, una buena situación de biodiversidad y calidad de agua. Este camino productivo es certificable en la producción de lana, y permite agregar valor a la misma.

Desde 2018, más de 2500 animales de diferentes razas ovinas han sido evaluados en la plataforma de fenotipado de la unidad experimental La Magnolia, permitiendo, por ejemplo, generar parámetros genéticos en Merino para variables como consumo, emisión de metano o eficiencia de conversión del alimento. Sin embargo, si el sector productivo comienza a buscar animales más eficientes y que emitan menos, el ritmo de evaluación en la plataforma no será suficiente para cubrir la demanda. En este escenario, surge la posibilidad de validar un protocolo de medición de emisión de metano en pastoreo (hay antecedentes en Irlanda y Nueva Zelanda) y estudiar la posibilidad de estimar eficiencia y consumo por indicadores indirectos en el mismo momento. Esto tendría dos consecuencias, por un lado, correlacionar los datos de corral con los datos de emisión en pastoreo. Y, por otro lado, hacer disponible un protocolo para medir un mayor número de animales en las cabañas de diferentes razas ovinas en el país. Esto permitiría un incremento importante en los animales evaluados y por ende la posibilidad de aumentar el progreso genético en la característica.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Merino Dohne**

El Merino Dohne es una raza de doble propósito (lana fina y carne) desarrollada por el Departamento de Agricultura de Sudáfrica en la Estación Experimental de Dohne en la década de 1930, donde cruzando ovejas Merino Peppin y carneros Merino Alemán de carne, después de 15 años generaron la raza Merino Dohne. Las progenies se volvieron a cruzar entre ellas y fueron seleccionadas por alta fertilidad, rápidas tasas de crecimiento de los corderos y lana Merino fina, en condiciones comerciales de campo natural (Montossi et al., 2014).

Esta raza fue introducida en Uruguay en el 2002. En cuanto al resto del mundo y para condiciones de interés para el Uruguay, esta raza fue introducida en: Nueva Zelanda (2004), Argentina (2005) y Chile (2006). Después de 11 años de su introducción al país, el 30 de julio del 2013 se formó la Sociedad de Criadores de Merino Dohne del Uruguay (Montossi et al., 2014).

Es una raza doble propósito, que destaca por su producción complementaria de lana fina (<22 micras) y carne. Desde su introducción al país, ha tenido un importante crecimiento, representando aproximadamente el 3% de la población ovina (Encuesta ganadera 2016). Se la ha sugerido (De Barbieri et al., 2021) como alternativa de producción ovina para sistemas ganaderos extensivos y semiextensivos, y es el modelo de estudio que se seleccionó para esta tesis.

### **2.2. Emisión de Metano**

En los rumiantes, el metano es uno de los productos derivados de la fermentación ruminal, así como también en menor medida el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrógeno (H<sub>2</sub>). A diferencia de los AGV, el metano no es usado como fuente de energía por el rumiante entonces es considerado un residuo y una pérdida de energía digestible, el cual es eliminado del organismo mediante la eructación y la respiración. El H<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> son utilizados por los microorganismos del rumen, pertenecientes al dominio Archaea para producir CH<sub>4</sub>. La formación del mismo es un proceso fisiológico normal que contribuye al correcto funcionamiento fermentativo del rumen (Ramírez-Bribiesca, 2018).

El tiempo de residencia del alimento en el rumen varía entre 8 y 30 horas según sean dietas con alta o baja digestibilidad de la fibra, respectivamente. En el caso de dietas con alto contenido de fibra de baja digestibilidad, el tiempo de retención es considerablemente mayor que con dietas concentradas. La mayor permanencia del alimento en el tracto digestivo lleva a una mayor fermentación del mismo y por ende a una mayor producción de CH<sub>4</sub> por unidad de materia seca (Methol, 2005). Entonces, a medida que aumenta la digestibilidad del alimento ingerido, la emisión de CH<sub>4</sub> disminuye por kg de materia seca. Existen dos mecanismos que varían la producción del mismo: la cantidad de carbohidratos fermentados en el rumen y la disponibilidad de hidrógeno para la producción del gas. Se han identificado pérdidas de energía (en relación con el consumo energético) de 2 al 3% cuando el ganado se alimentaba ad-

libitum con dietas ricas en cereales y del 6 al 7% cuando el forraje se suministraba al nivel de mantenimiento de un correcto pH ruminal (Johnson & Johnson, 1995).

En Uruguay, las emisiones del sector Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra (AFOLU por su sigla en inglés), son las más relevantes del Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Uruguay (INGEI), contribuyen de manera importante a los totales nacionales de emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), mientras que las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO) son de baja significancia. Las emisiones de metano totalizaron 767 Gg en el año 2020. Fueron generadas fundamentalmente en el sector AFOLU que representaron el 92% del total, seguidos por el sector desechos, que aportó 7% y, por último, el sector energía con tan solo 1% del total de emisiones de metano. Las emisiones netas de metano representan el 59% de las emisiones totales nacionales contribuyendo relativamente al calentamiento global. Las emisiones de CH<sub>4</sub> provienen fundamentalmente de la fermentación entérica del ganado vacuno no lechero (85,4%) y el restante 14,6% correspondió a la fermentación entérica del ganado lechero, ovino y de otros animales rumiantes y no rumiantes, el manejo del estiércol, el cultivo de arroz y la quema de biomasa (Ministerio de Ambiente, 2023).

El patrón circadiano de las tasas de emisión de CH<sub>4</sub> varía con el tiempo. Las emisiones son bajas antes de la comida y aumentan durante la alimentación, alcanzando niveles máximos entre 0,5 y 3 horas después del inicio de la comida, para luego disminuir gradualmente una vez que la comida haya terminado. Este cambio en las tasas circadianas de emisión de CH<sub>4</sub> disminuye con el aumento del nivel de alimentación tanto en ovejas como en ganado cuando se les alimenta con pasto fresco; la calidad de la dieta y la alimentación con concentrados también se afecta (Jonker et al., 2020).

Jonker et al. 2014, investigaron cómo varían las emisiones de CH<sub>4</sub> en bovinos alimentados con silo de alfalfa a diferentes niveles y frecuencias de alimentación. Su objetivo fue entender la variación circadiana en estas emisiones para mejorar la interpretación de las mediciones "instantáneas" de CH<sub>4</sub>, que se utilizan para predecir las emisiones diarias. Se encontró que las emisiones de CH<sub>4</sub> de los bovinos varían considerablemente a lo largo del día, especialmente con alimentaciones restringidas. A medida que aumentaba la frecuencia de alimentación (de dos a cuatro veces al día), el tiempo hasta alcanzar las emisiones máximas de CH<sub>4</sub> disminuye. Sin embargo, la variación circadiana fue mayor cuando la ingesta estaba restringida, en comparación con la alimentación ad libitum. Además, la ingesta de alimento afectó las emisiones con alimentación ad libitum, las emisiones totales de CH<sub>4</sub> casi se duplicaron. También, se observó que la variación en las emisiones diarias de CH<sub>4</sub> es menor cuando el alimento se ofrece con más frecuencia, incluso sin restricciones en la cantidad de alimento. El estudio subraya la importancia de realizar mediciones "instantáneas" de CH<sub>4</sub> durante todo el ciclo de 24 horas para obtener una estimación precisa de las emisiones diarias. La variación circadiana también puede depender del tipo de alimento, ya que la alimentación frecuente de ciertos tipos de alimento reduce las emisiones de CH<sub>4</sub>. En síntesis, el patrón circadiano de las emisiones de CH<sub>4</sub> fue influenciado por la cantidad de alimento ofrecido y la frecuencia de alimentación, y la variación en la tasa de emisión de CH<sub>4</sub> se redujo con el aumento de la ingesta, sin afectar el rendimiento promedio diario (g CH<sub>4</sub>/kg de ingesta de MS)

La emisión de CH<sub>4</sub> en las ovejas está influenciada por el consumo de alimento, y tiende a disminuir a lo largo del día, especialmente cuando ha pasado tiempo desde su última comida. Robinson et al. (2014a) observaron variación en la tasa de disminución de CH<sub>4</sub> entre diferentes sitios y animales. En su estudio, las ovejas que no comieron desde la tarde anterior hasta 1 hora antes de las mediciones mostraron emisiones bajas que continuaron disminuyendo. Además, Robinson et al. (2015) concluyeron que proporcionar alimento antes de las mediciones generaba más variabilidad, ya que las ovejas comían cantidades diferentes. Dado que las ovejas no comen de manera continua, se comprobó en un estudio más reciente (Robinson et al., 2020) que, retirarles el alimento entre 0 y 1 hora antes de las mediciones producía resultados más precisos.

### **2.2.1. Métodos para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> de rumiantes**

Existen diversos métodos para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> de rumiantes individuales, los cuales se basan en la recolección de múltiples muestras puntuales a corto plazo. Uno de los métodos más utilizados es la cámara de acumulación portátil (PAC), que es el seleccionado para este estudio. Este procedimiento consiste en colocar al animal dentro de una cámara sellada donde se acumulan los gases emitidos, permitiendo calcular la producción de gas (g/d). Aunque el concepto no es nuevo, la validación para medir la variación individual en las emisiones de gases en ovejas se realizó en estudios recientes, como los de Goopy et al. (2011; 2016), Robinson et al. (2014), y Paganoni et al. (2017) (Jonker et al., 2020). El funcionamiento de este sistema y el proceso de cálculo de metano, dióxido de carbono y oxígeno se detallan en los métodos, y el análisis se realiza mediante un multi-analizador de gases (Eagle II, RKI Instruments, CA, USA).

Goopy et al. (2011) encontraron correlaciones moderadas de 0,67-0,71 entre las mediciones de PAC y las de cámaras estáticas, lo que sugiere que el PAC es un método adecuado para medir la producción de CH<sub>4</sub>. Además, la adopción de este método como herramienta de selección facilita el fenotipado de más animales que con las cámaras de circuito abierto, a un costo menor y con menor intervención sobre el animal.

Las emisiones de CH<sub>4</sub> en animales individuales, según Pickering et al. (2015), muestran una leve repetibilidad entre dietas y niveles de alimentación cuando se miden en cámaras de respiración. La repetibilidad es menor si varía la hora de medida y la cantidad de alimento ingerido. Goopy et al. (2016) también encontraron que el uso del PAC es un método sólido y repetible para detectar la producción de CH<sub>4</sub> en poblaciones de ovejas. En su estudio, el peso vivo fue un correlato significativo de la producción de CH<sub>4</sub> ( $r = 0,47$ ), y las correlaciones entre mediciones de PAC variaron entre 0,44 y 0,55. Tras ajustar por el peso vivo, la repetibilidad fue de 0,33 a 0,43.

La variabilidad en las emisiones también está influenciada por la dieta, ya sea a pastoreo o en corral, como se observa en los estudios de Robinson et al. (2010), Pinares-Patiño et al. (2011a; 2013), Pickering et al. (2015) y Goopy et al. (2016). La emisión de CH<sub>4</sub> está relacionada con el consumo, que depende del peso vivo, siendo más relevante la heredabilidad del rendimiento de CH<sub>4</sub> (g CH<sub>4</sub>/kg DMI), que fue estimada en 0,13 con un coeficiente de variación del 10,3% (Pinares-Patiño et al., 2013). Este valor es similar al de Robinson et al. (2010), quienes estimaron la

heredabilidad para la emisión bruta en 0,30 y para la emisión medida en intervalos de una hora en 0,13, con repetibilidades de 0,47 y 0,32, respectivamente.

Pinares-Patiño et al. (2013) concluyeron que las emisiones de CH<sub>4</sub> en términos de g CH<sub>4</sub>/día y g CH<sub>4</sub>/kg DMI son hereditarias y repetibles, lo que sugiere que la selección genética podría reducir las emisiones de CH<sub>4</sub>. La variabilidad en la ingesta de alimento tiene un impacto significativo en las emisiones. Las mediciones diarias de g CH<sub>4</sub>/día mostraron una alta correlación entre días consecutivos, pero la repetibilidad en períodos largos (semanas o años) fue más baja (0,53–0,55), lo que indica que las mediciones repetidas son útiles para clasificar animales con mayor precisión. En contraste, la repetibilidad de las emisiones de g CH<sub>4</sub>/kg DMI fue más baja pero constante a largo plazo. Además, la variación de las emisiones fue mayor cuando se restringió la ingesta, mientras que las emisiones fueron más estables cuando se ofreció alimento con mayor frecuencia. Las correlaciones genéticas entre las emisiones de CH<sub>4</sub> y los rasgos de producción fueron en su mayoría bajas, lo que sugiere que la selección para reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> probablemente no afectará negativamente la productividad. Sin embargo, se observó una correlación baja pero negativa entre el peso de la lana y las emisiones de g CH<sub>4</sub>/kg DMI, sugiriendo que los animales con menores emisiones podrían tener un mayor peso de lana. Estos resultados abren la posibilidad de realizar mejoras genéticas en la eficiencia del ganado mediante selección para reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> sin comprometer la productividad.

O'Connor et al., en el año 2024, compararon las emisiones de gases de efecto invernadero, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y también DMI (consumo de alimento), en ovejas medidas mediante cámaras de respiración (RC) y cámaras de acumulación portátiles. El estudio se hizo por 14 días midiendo DMI diariamente. En los resultados observaron que se midió una mayor emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en el RC que en el PAC ( $P < 0.01$ ); de manera similar, el rendimiento medio de CH<sub>4</sub> fue mayor cuando se midió en el RC ( $15.39 \pm 0.452$  g CH<sub>4</sub>/kgMS) en comparación con el PAC ( $8.01 \pm 0.767$  g CH<sub>4</sub>/kg MS). Se encontró una correlación moderada de 0.37 entre la emisión de CH<sub>4</sub> medida en el PAC Pre-RC y el RC. También, encontraron correlaciones moderadas a fuertes entre CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> por kg de peso vivo y entre el rendimiento de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. Los resultados de este estudio destacan la idoneidad del PAC como herramienta de clasificación para ordenar los animales según su emisión gaseosa en comparación con el RC.

### **2.2.2. Mejora genética: herramienta para mitigar las emisiones**

Para reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> por cabeza y la intensidad de producción por unidad de producto, se han propuesto diversas estrategias, tales como el cambio en el tipo de alimentación, el uso de suplementos reductores de CH<sub>4</sub>, la mejora de la productividad mediante cambios en la gestión, incluyendo el uso de potenciadores del crecimiento y la mejora genética, inmunización contra metanógenos, y la cría selectiva de animales con bajas emisiones de CH<sub>4</sub>, ya sea mediante el bajo consumo de alimento residual o el bajo rendimiento de CH<sub>4</sub> (Oddy et al., 2014).

La selección genética para reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> mediante la selección combinada de un bajo consumo de alimento residual y un bajo rendimiento de CH<sub>4</sub> podría proporcionar una reducción a largo plazo de la producción de CH<sub>4</sub> del 40-45%

(Oddy et al., 2014). Paganoni et al. (2017) también afirman que la selección para disminuir el consumo de alimento residual disminuiría tanto el metano (correlación de 0,76 a 0,90) como el dióxido de carbono (correlación de 0,65 a 0,96). Además, indican que el dióxido de carbono es un buen indicador del consumo de alimento, ya que presenta una mayor heredabilidad que otros gases medidos, es más barato, rápido y fácil de medir, y tiene fuertes correlaciones fenotípicas y genéticas con el consumo de alimento.

La selección de animales más eficientes en la ingesta de alimento puede realizarse a una edad temprana, como en corderos postdestete o borregas, lo que reduce el intervalo generacional y aumenta la respuesta a la selección. En un estudio de Paganoni et al. (2017), donde las ovejas fueron alimentadas ad libitum durante 35 días y se midió su consumo mediante comederos automáticos y el metano con PACs, se encontró que las heredabilidades y las correlaciones fenotípicas y genotípicas fueron más altas para el dióxido de carbono (rango de 0,10 a 0,28) y el oxígeno (rango de 0,08 a 0,28), que para el metano (rango de 0,11 a 0,14).

Asimismo, la selección para un menor consumo de alimento residual y menor emisión de dióxido de carbono en corderos también reduciría estos rasgos en animales adultos. Robinson et al. (2016) al igual que Paganoni et al. (2017), muestran que la ingesta de alimento puede ser una herramienta eficaz para seleccionar animales productivos, seleccionar para un menor consumo de alimento y consumo residual de alimento reducirá la producción de metano y dióxido de carbono en ovejas.

El uso de mediciones tempranas de la ingesta de alimento y las emisiones de gases está altamente correlacionado con los resultados obtenidos en la adultez, lo que permite realizar selecciones antes de que los animales alcancen la madurez. Este enfoque reduce los costos y facilita la selección de animales más eficientes y sostenibles (Paganoni et al., 2017).

### **2.2.3. Alimentación y su efecto sobre la emisión de metano:**

La producción de metano en los rumiantes está influenciada por factores relacionados con el animal, como el consumo de materia seca (MS), la tasa de pasaje y el consumo residual. En estudios sobre el consumo de MS y la producción de CH<sub>4</sub>, Custodio y Echenagusía (2022) reportan que la producción de metano estuvo en un rango de 16,6 a 21,2 g/a/d, registrándose mayores emisiones a medida que el nivel de oferta de MS se incrementaba. Este comportamiento se debe a que un mayor consumo de MS favorece una mayor fermentación y producción de ácidos grasos volátiles (AGV), lo que aumenta la disponibilidad de hidrógeno (H<sub>2</sub>) para la formación de metano (Johnson & Johnson, 1995). Sin embargo, en cuanto al rendimiento de metano (CH<sub>4</sub> por kg de MS ingerida), no se observaron diferencias significativas en este estudio. Estos resultados contrastan con los hallazgos de De Barbieri et al. (2015) y Muir et al. (2021), quienes sí reportaron diferencias, observando un menor rendimiento en los animales con mayores consumos de MS. Johnson y Johnson (1995) explican que cuando el consumo es menor, la tasa de pasaje es más lenta, lo que aumenta la degradabilidad del alimento en el rumen y, en consecuencia, las emisiones de metano por kg de MS ingerido.

En su tesis de posgrado, Dini (2018) investigó estrategias de mitigación de la emisión de metano en novillos Hereford en condiciones de confinamiento. Encontró que los animales más eficientes, aquellos con menor consumo residual de alimento (RFI), consumieron menos alimento y dedicaron un 23% menos tiempo a comer, emitiendo un 27% menos de CH<sub>4</sub> en comparación con los menos eficientes. Estos resultados indican que la selección basada en el RFI podría ser una estrategia prometedora para reducir las emisiones de metano, y puede implementarse junto con el manejo adecuado de la dieta.

Los factores dietéticos, como la composición y la relación entre forraje y concentrado, también impactan la producción de metano. Varios estudios, como los de Johnson y Johnson (1995) y Velazco et al. (2017), destacan que la calidad de la dieta está directamente relacionada con la producción de CH<sub>4</sub> por unidad de alimento consumido. Hammond et al. (2013) evaluaron la producción de metano en ovejas alimentadas con trébol blanco (*Trifolium repens*) o raigrás (*Lolium perenne*) a distintos niveles de consumo. Concluyeron que, aunque la producción total de metano aumentó con el nivel de consumo de MS, la producción de metano por kg de MS consumida disminuyó. A pesar de que la producción de metano fue más baja con el trébol blanco en comparación con el raigrás, la composición de la dieta tuvo poca influencia en la cantidad total de metano producido.

Por otro lado, Savian et al. (2018) demostraron que el manejo del pastoreo tiene un efecto importante en la reducción de emisiones. En su estudio, el sistema de pastoreo rotativo, denominado "Rotativo" (RN), resultó en una mayor ingesta de nutrientes y menores emisiones de metano en comparación con un sistema rotativo tradicional (RT). En el sistema RN, donde las alturas objetivo de la pradera antes y después del pastoreo eran de 18 y 11 cm, respectivamente, las ovejas produjeron un 64% menos de metano por área y un 170% menos de metano por unidad de producto animal en comparación con el sistema RT, que tenía alturas de pradera de 25 y 5 cm. Estos resultados refuerzan la idea de que la gestión eficiente del pastoreo es clave para reducir el impacto ambiental de la ganadería, disminuyendo las emisiones de metano en los sistemas de pastoreo.

Los microorganismos del rumen metabolizan los carbohidratos de la dieta convirtiéndolos principalmente en ácidos grasos volátiles (AGV) como acetato, propionato y butirato. En el proceso de síntesis de acetato y butirato se producen moléculas de H<sub>2</sub> las cuales son usadas para la síntesis de CH<sub>4</sub>. La formación de CH<sub>4</sub> por las archaeas, como mencionamos anteriormente en la revisión, es la vía más importante de remoción de H<sub>2</sub> (Vargas et al., 2012). Vargas et al. (2012), sugieren que las variaciones en la emisión de metano de animales alimentados con diferentes especies forrajeras están relacionadas con las diferencias en el contenido de fibra, las tasas de paso y la presencia de metabolitos secundarios. Un mayor contenido de fibra tiende a disminuir las tasas de paso y el consumo de materia seca, además de incrementar la producción de metano por cada unidad de materia seca consumida. El impacto de incorporar leguminosas en la dieta sobre la producción de metano es variable y depende de la presencia de compuestos secundarios como los taninos y las saponinas. Los estudios revisados por estos autores sugieren que hay oportunidades para reducir las emisiones de metano por unidad de MS consumida, especialmente cuando las prácticas de manejo de pasturas favorecen un aumento en las tasas de paso y el consumo voluntario.

### 2.3. Eficiencia de conversión

La eficiencia de conversión se puede definir como la cantidad de alimento necesario para producir una unidad de producto (kg). Una forma de estimar esta eficiencia es a través del consumo residual de alimento (RFI, por sus siglas en inglés), que es independiente de factores como el nivel de producción, el tamaño y la tasa de crecimiento del animal. Varios procesos fisiológicos contribuyen a la variación en el RFI, tales como: los procesos asociados con el consumo de alimento, la digestión, el metabolismo (tanto anabólico como catabólico relacionados con la variación en la composición corporal), la actividad física y la termorregulación (Herd et al., 2009).

Cantalapiedra-Hijar et al. (2018) concluyen que los mecanismos relacionados con la alimentación y la digestión podrían estar asociados con el RFI, principalmente porque varían en función de la ingesta de alimento. En cuanto a los mecanismos metabólicos, se ha observado que los animales más eficientes tienen una tasa metabólica energética significativamente más baja, independientemente de la reducción en la ingesta de alimento. Esta menor producción de calor en los animales eficientes podría deberse a una disminución en la rotación de proteínas y una mayor eficiencia en la producción de ATP en las mitocondrias. En contraste, no se ha podido establecer una relación concluyente entre las hormonas, la composición corporal y la variación en la eficiencia alimentaria entre los animales. Otras vías significativas, como el metabolismo de los lípidos y la respuesta inmune y al estrés, también fueron identificadas. Tanto Cantalapiedra-Hijar et al. (2018), como Kenny et al. (2018), coinciden en que existe información insuficiente sobre la relación entre el RFI y los rasgos relacionados con la productividad.

Los animales más eficientes en el uso del alimento (bajo RFI) emiten menos metano ( $\text{CH}_4$ ), lo que ha sido identificado como una posible estrategia para mitigar la emisión de este gas. Esto se debe a que la producción de  $\text{CH}_4$  está proporcionalmente relacionada con la cantidad de alimento consumido. Los animales con valores bajos de RFI son más eficientes, ya que consumen menos alimento de lo esperado, en relación con su peso vivo y ganancia diaria, y producen menos metano (Dini, 2018). En este sentido, Hegarty et al. (2007) señalan que los animales más eficientes producen un 25% menos de metano. Arthur et al. (2014) y Paganoni et al. (2017) refuerzan la idea de que la selección genética para reducir el RFI puede lograr reducciones significativas en el consumo de materia seca (MS) sin comprometer la ganancia diaria, lo que también resulta en una disminución de la producción de metano.

Las fuertes y consistentes correlaciones entre el consumo de materia seca (DMI, por sus siglas en inglés) y el RFI sugieren que una medición a corto plazo del consumo de alimento, junto con el peso vivo del animal, podría ser utilizada como una alternativa para medir la eficiencia alimentaria (Muir et al., 2020).

Por otro lado, Redden et al. (2014) evaluaron los efectos del consumo residual de alimento (RFI) en condiciones de alimentación ad libitum sobre el consumo de materia seca (DMI) y el rendimiento de ovejas de un año alimentadas con heno de alfalfa picado o granulado. En el primer experimento, se determinaron dos grupos: uno con RFI bajo y otro con RFI alto. Los corderos del grupo con RFI bajo consumieron un 9% menos ( $P < 0,01$ ) que los del grupo con RFI alto (2,21 frente a 2,43 kg/día). Sin embargo, no hubo diferencias en el AOB/EG entre los dos grupos. En el segundo

experimento, el consumo de materia seca fue un 22% inferior ( $P < 0,01$ ) en las ovejas del grupo de RFI bajo comparado con las del grupo de RFI alto (2,5 frente a 3,2 kg/día). La diferencia en el consumo entre los grupos de RFI fue más evidente cuando los animales consumieron forrajes con mayor DMI. Además, los animales con alto RFI tendieron a depositar más grasa que aquellos con bajo RFI.

### **3. HIPOTESIS**

La correlación fenotípica entre las emisiones de metano de corderas en condiciones de pastoreo y en corral es positiva y alta ( $r > 0.5$ ).

### **4. OBJETIVOS**

- Estudiar la correlación (Pearson y Spearman) entre las estimaciones en pastoreo y corral para emisión de metano.
- Sugerir un protocolo para la estimación de emisión de metano en pastoreo.

### **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **5.1. Animales:**

Sesenta y cinco corderas Dohne de UELM (Unidad Experimental La Magnolia), nacidas en primavera 2023 y destetadas en diciembre, con un peso vivo promedio de  $23,3 \pm 4$  kg.

#### **5.2. Diseño experimental:**

La prueba de eficiencia en corral se realizó en los meses de enero y febrero de 2024, más adelante se describe el detalle de la evaluación en corral. Inmediatamente posterior a finalizar su evaluación en el corral, los animales estuvieron a pastoreo en campo natural por un período de 56 días, de los cuales 14 días fueron de acostumbramiento y 42 días de prueba. Para lograr expresar su consumo este pastoreo fue similar a como se realiza la producción ovina en nuestro país.

En el período a corral, se determinó el consumo del alimento, y la emisión de metano y peso vivo de los animales, posteriormente se estimó la eficiencia alimenticia. En el período en pastoreo se estimó la emisión de metano y peso de los animales.

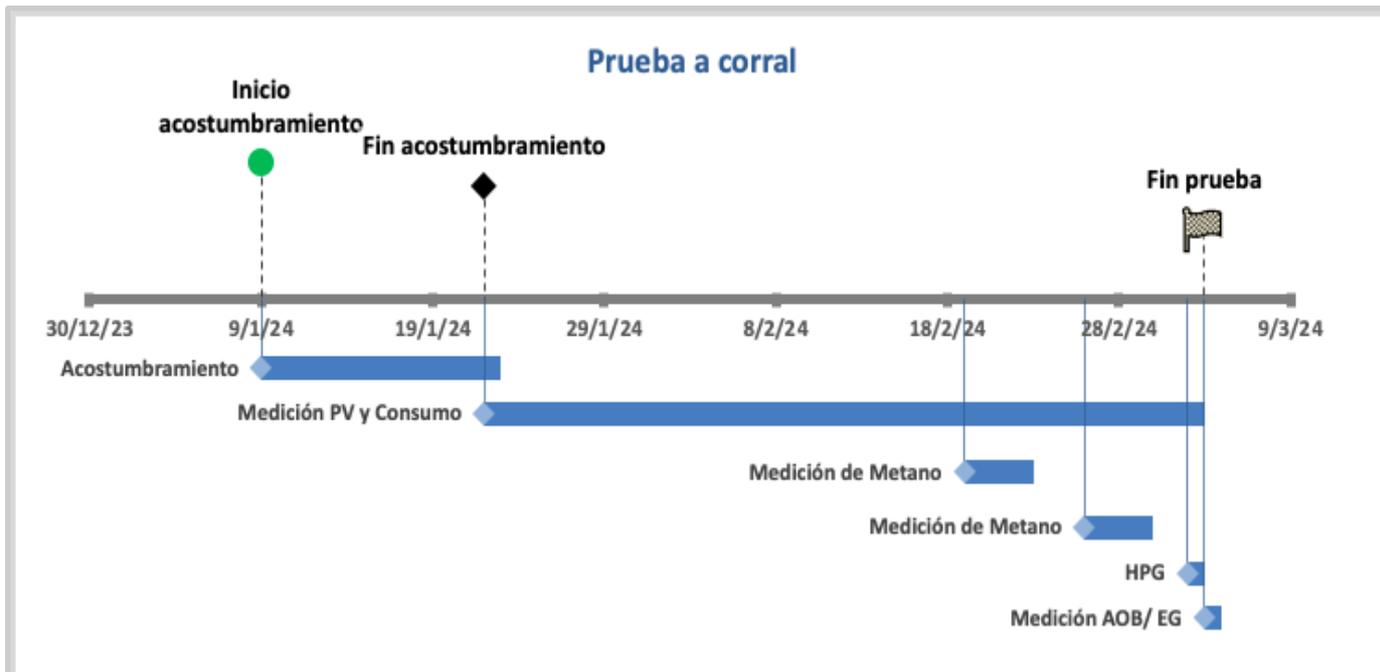


Figura 1. Línea del tiempo de prueba a corral.

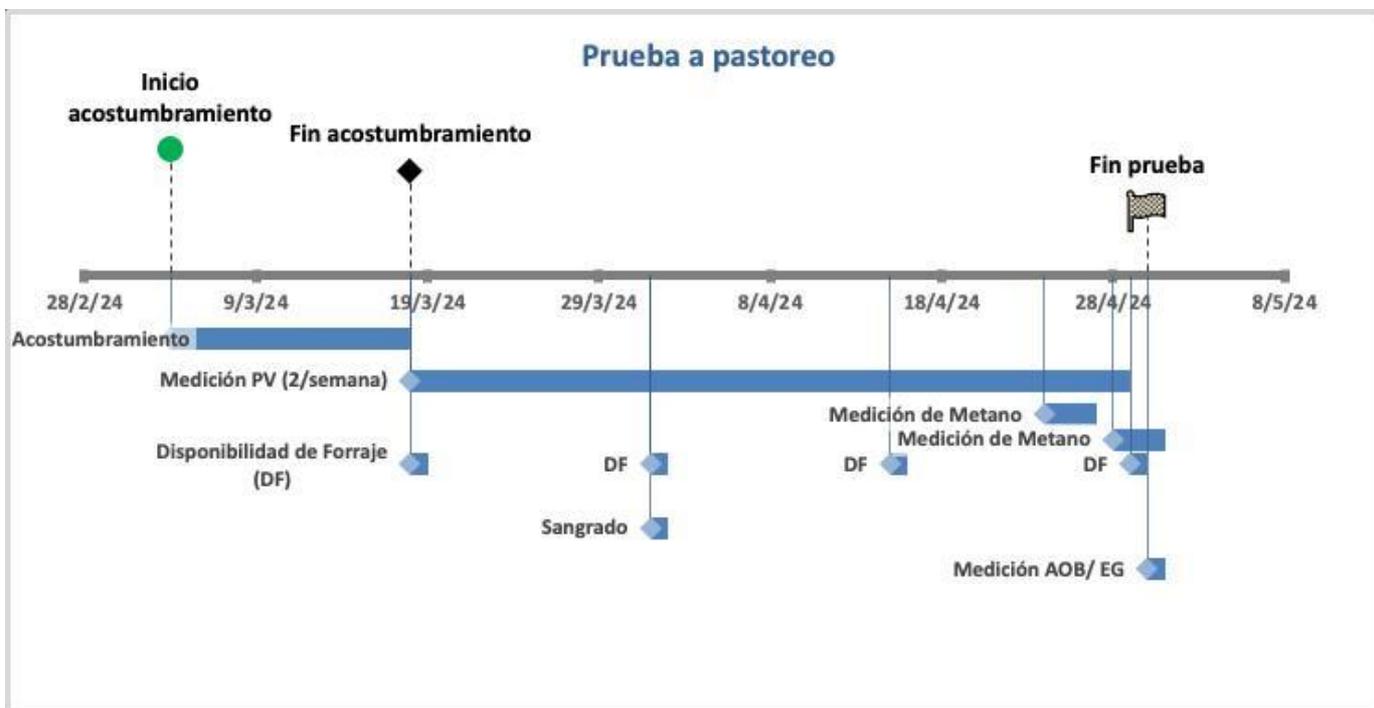


Figura 2. Línea del tiempo de prueba a pastoreo.

### 5.3. Manejo:

Las corderas fueron destetadas y luego de un período de 20 días, fueron ingresadas al corral de fenotipado.

Agua y sombra: los animales tuvieron libre acceso a agua y al menos 2 m<sup>2</sup> de sombra artificial en el corral y natural en el período a pastoreo por animal, ofrecida colectivamente, tanto en el corral como en el pastoreo.

Salud: el manejo sanitario fue de acuerdo con el protocolo general de UELM. Este consta de la aplicación de la vacuna para la prevención de ectima contagioso en la señalada y, además, vacuna para prevención y control de clostridiosis con revacunación a los 21 días. Se administró antiparasitario (Derquantel 10 mg/mL - Abamectina 1 mg/mL) previo al corral, y cada 30 días hasta la entrada al corral el 9 de enero. Al inicio del corral los animales fueron desparasitados (Derquantel 10 mg/mL - Abamectina 1 mg/mL) y monitoreados por HPG al principio y durante el período de pastoreo. Respondiendo a los altos resultados de HPG (contajes de huevos) se administró nuevamente antiparasitario (Derquantel 10 mg/mL - Abamectina 1 mg/mL). También se les administró pour on (Monepantel 25 mg/ml) el 19 de abril y una dosis de ivermectina al 1% el 25 de abril.



*Figura 3. Corral de fenotipado en ULEM en el cual se hizo toda la parte práctica de las corderas a corral por un período de 56 días.*

## 5.4. Definición de variables

### **A corral:**

Corderas en el corral: 65 hembras

Peso vivo y consumo de alimento: Previo al inicio de la prueba los animales tuvieron un período de acostumbramiento de 14 días a la nueva alimentación.

Los animales fueron aleatoriamente (considerando el peso vivo individual para hacer subgrupos en los cuales tengan similar PV y así favorecer el consumo individual en los corrales) asignados a 1 de 4 corrales (el primero con 17 animales y el resto con 16 animales cada corral, >10 m<sup>2</sup> para cada animal dentro del corral) (Figura 3). Durante la primera semana, se controló diariamente en el sistema, que todos los animales estuvieran consumiendo el alimento de forma constante. El peso vivo se tuvo en cuenta en la asignación para evitar diferencias superiores a 5 kg dentro de cada lote-corral.

El peso vivo se determinó con balanzas automáticas dentro de cada corral. Por corral había dos balanzas que son el punto de acceso al agua (Figura 4), por lo tanto, cada vez que los animales iban a tomar agua se les registraba el peso individual. En las primeras 24 horas, se controló que todos los animales hayan ido a tomar agua. En el corral 4, los animales al pesar menos de lo que las balanzas lograban registrar (20 kg mínimo) se los tuvo que pesar durante la prueba a corral dos veces por semana manualmente en balanzas fuera del corral. El PV como variable se calculó haciendo un promedio de cada día del total de pesadas en las balanzas, y luego el promedio del total de los 42 días.

Se determinó consumo individual de materia fresca por día durante un período de 42 días, mediante la utilización de equipos electrónicos automatizados (Intergado, Contagem, MG, Brasil) (Figura 5). El suministro de henilaje de alfalfa durante la prueba de consumo fue ad libitum y ofrecido de forma diaria (tres veces al día, en la mañana, medio día y en la tarde), a la mañana, previo a colocar nuevo alimento en los comederos, se retiraba lo no consumido del día anterior y éste se registraba.

En cada corral hubo 5 equipos de medición individual de consumo como mencionamos anteriormente (Intergado) (Figura 5), los cuales están equipados con un lector de caravanas electrónicas, una balanza de precisión, y están conectados a una computadora central, que transmite información en tiempo real vía telefonía celular. Los equipos estaban separados por 20 cm y a su vez poseen estructura (feedstall) para disminuir interferencia entre animales. Cada corral, posee 400 m<sup>2</sup>, con piso de concreto (16 m<sup>2</sup>), piso de balastro (32 m<sup>2</sup>) y piso de tierra, sombra en dos áreas y agua ad libitum.

Se registró diariamente, la duración de las comidas, el número de comidas por día, el volumen de alimento consumido por comida y total por animal. Semanalmente se tomaron muestras de 200 g del alimento, fueron secadas en estufa a temperatura controlada, pesadas y guardadas para posteriores análisis de composición química en el laboratorio. El consumo individual se calculó haciendo la suma de todo el

consumo total diario y luego el promedio de los consumos del total de la prueba de 42 días.



*Figura 4. Bebederos con balanzas automáticas*



*Figura 5. Comederos de autoconsumo*

Área de ojo de bife y espesor de grasa: Fueron estimados por ultrasonografía del músculo Longissimus thoracis et lumborum al final del período de corral. Los animales fueron escaneados con un equipo Aloka SSD 500V W/2X real-time scanner (Tokyo, Japan) utilizando una sonda de 3.5 MHz (UST-5511U-3.5, 18 cm, Aloka, Tokyo, Japan), ubicada de forma perpendicular a la columna entre la 12va y 13va vértebra torácica luego de separar la lana y utilizando aceite vegetal como medio para un mejor acople sonda-piel. Las imágenes fueron capturadas en video (VST-NTSC), y luego el AOB y EG fueron medidos con análisis de imágenes con BioSoftToolbox®II for Beef C 2007– 2012 (Biotronic software, Aspen, IA, USA). Los mismos no fueron utilizados para el posterior análisis de resultados por falta de información.

### **A pastoreo:**

Corderas en la pastura: 65 hembras



*Figura 6. Corderas a pastoreo en ULEM*

Peso vivo: Los animales fueron pesados entre 9 y 9:30 en la mañana, al inicio, dos veces por semana (lunes y jueves) a excepción de los días de lluvia, y al final de los 42 días de prueba. El PV como variable se calculó haciendo un promedio del total de las pesadas en el total de la prueba.

Disponibilidad de forraje, estructura y altura: La disponibilidad de forraje se midió cortando (con tijera eléctrica) y colectando toda la masa de forraje que crece por sobre los 3 cm de altura (sobre el nivel del suelo) en un área de 0,1 m<sup>2</sup> (cuadro de 20x50 cm). Se tomaron 6 cuadros al inicio, y cada 14 días.

Las muestras de forraje se pesaron fresco, luego se armó un pool y dos submuestras (200 g) se colocaron en estufa de aire forzado a <60°C por 72 horas para estimar materia seca parcial. Otra submuestra de forraje fresco (100 g), se utilizó separar las fracciones verde y seco, las cuales se secaron en estufa a <60°C por 72 h y se

guardaron para posteriores análisis. La altura del tapiz se determinó tomando 100 medidas en el potrero usando sward stick, en el mismo día de medición de forraje. La altura se realizó sobre una diagonal de 25 m marcada con estacas, siempre sobre el mismo lugar. Los cortes de pastura quedan por fuera de la zona de medición de altura.

Composición química del alimento: Las muestras secas, se molieron a 1 mm. La composición química del alimento (henilaje o pastura) se estimó determinando MSA (AOAC, 1990), cenizas (AOAC, 1990), ADF y NDF (Ankom technology method, AOAC, 2012), contenido de N (Kjeldahl, AOAC, 1995), y EE (Ankom technology method, Yemm y Willis, 1954).

Emisión de metano: La medición de la emisión de metano se realizó siguiendo lo establecido por Goopy et al. (2011; 2016), Robinson et al. (2014), y Paganoni et al. (2017). Los animales fueron colocados individualmente en cámaras de acumulación portátiles (860-880 lt), en dos oportunidades con una semana entre mediciones. En las cámaras luego de 20 y 40 minutos se evaluó la concentración de metano, dióxido de carbono y oxígeno mediante un multi analizador de gases (Eagle II, RKI instruments, CA, USA).

Adicionalmente, se tomó una medición de base en el ambiente o en las cámaras previo a colocar los animales. Paralelamente se determinó la presión atmosférica y temperatura en el sitio, y la concentración de los gases en el aire. La presión y temperatura se realizó con un data logger de Unidad Gras. En cada prueba, se realizó un test de pérdidas en las cámaras, se realizó una inyección de butano, y se confirmó la estabilidad de la medición por 3 - 4 hs. El equipo Eagle II, fue calibrado y se le realizó un bump test luego de cada set de medición (500 ppm de metano) y el día de medición luego de encendido para el 0 se colocó el filtro de CO<sub>2</sub> para su medición simultáneamente con el CH<sub>4</sub>. Para colaborar con el aislamiento se colocó una película de agua de 2 cm. Las cámaras fueron cargadas desde la 1 a la 10, de forma continua con registro de horario de ingreso. Los animales, en su período en la cámara se pudieron ver entre pares (las cámaras son transparentes), cualquier animal que presente nerviosismo o incomodidad fue retirado de la cámara. La concentración de metano fue llevada a una hora, gramos, STP y en el volumen de la cámara real fue descontando el volumen del animal (1.01 lt/kg PV) (Jonker et al., 2018) (Observar figuras 7 y 8).

Los animales fueron retirados del alimento una hora antes de la medición en la etapa de pastoreo, aunque no sería estrictamente necesario (Robinson et al., 2020). A diferencia de a corral que los animales eran alimentados a las 7 am, para así todos consuman alimento y luego de una hora se comenzaba la medición en las PAC.



*Figura 7. Cámara de acumulación portátil identificadas con números para facilitar la medición*



*Figura 8. Juan realizando la medición de metano en PAC*

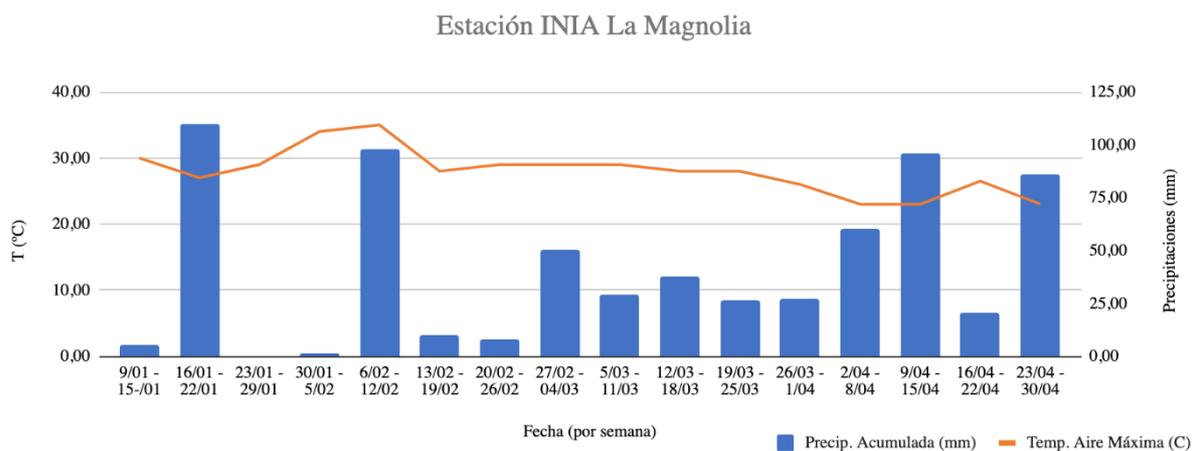
Al final del período de pastoreo, la medición de metano se realizó en dos días midiendo las emisiones del total de los animales, en la misma mañana (desde las 8:30 hasta las 12:30 aproximado). El total de animales se dividió en dos grandes grupos de color azul y rojo, para así diferenciar el día en que son medidos en las PAC. Siendo primero los azules y luego los rojos. Éstos, a su vez, fueron divididos en 3 subgrupos los cuales fueron marcados con el color correspondiente (azul o rojo) en el copete, cruz o anca. Siendo éstos, en orden de medición en las PAC, primero los pintados en el copete,

luego en la cruz y por último los pintados en el anca; este orden se repitió en una segunda medición con una semana de diferencia. En el caso de las mediciones de gases con los animales a pastoreo se hicieron a las 8:30, 10:00 y 11:30 de la mañana, con diferencias de hasta 15 minutos.



**Figura 9.** Las corderas del grupo azul, pintadas en grupos con las diferentes identificaciones en la cruz (derecha) y en el anca (izquierda)

Condiciones ambientales: Precipitación, viento, temperatura, presión y radiación en estación automática de INIA La Magnolia. Los mismos fueron utilizados para los cálculos de las emisiones de metano y otros gases en las cámaras portátiles. En la siguiente figura se observan las precipitaciones acumuladas en mm y la temperatura máxima por día en grados Celsius.



**Figura 10.** Precipitaciones y temperatura máxima por semana en la estación INIA La Magnolia

## 5.5. Cálculos - estadística

La GMD se calculó por regresión lineal del peso vivo diario en la prueba a corral, el modelo de la ecuación de regresión corresponde a:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X;$$

Siendo:

- $y$  = peso vivo (kg),
- $\beta_0$  = intercepto de regresión,
- $\beta_1$  = ganancia media diaria (kg/día),
- $X$  = día de prueba

La GMD en la prueba en la pastura se calculó con la diferencia del peso final e inicial, dividido la cantidad total de 56 días.

El modelo utilizado para el cálculo del consumo residual del alimento en el período de corral fue el siguiente (Koch et al., 1963):

$$y = PV^{0,75} + GMD + edad + CORRAL + \varepsilon \text{ (CRA)}$$

Siendo:

- $y$  = consumo de materia seca del individuo (consumo verde corregido por proporción de MS y corregido por proporción de MSA materia seca analítica) El consumo es el promedio diario del consumo durante toda la prueba y el  $PV^{0,75}$  es el peso vivo metabólico (es el peso promedio de la prueba elevado a 0,75 como covariable).
- GMD es la ganancia diaria proveniente de la regresión lineal de todos los pesos vivos diarios durante el periodo de la prueba (g/día, covariable)
- edad es la edad de cada animal al inicio de la prueba (días, covariable)
- CORRAL es el efecto fijo del corral (en la prueba de corral)
- El  $\varepsilon$  error residual es el CRA. De esta forma se obtuvo el CRA para cada individuo como la diferencia entre el consumo de MS observado de alimento y el consumo de MS esperado, CRA (error/residuo de la fórmula previa).

Los cálculos de emisión de metano se realizaron siguiendo la metodología descrita por De Barbieri et al. (2024).

Luego se realizó un análisis descriptivo de las variables analizadas en la prueba a corral (PV inicial, final, medio y metabólico, GMD, Consumo, Ef. Conversión, Emisión  $CH_4$  y Emisión  $CO_2$ ) y en la prueba a pastoreo en campo natural (PV inicial, final, medio y metabólico, GMD, Emisión  $CH_4$  y Emisión  $CO_2$ ) incluyendo cálculo de media, desvío, mínimo, máximo.

El PROC UNIVARIATE fue utilizado para hacer los grupos (turnos) por percentiles para las clases de producción de metano en el corral y en la pastura. Se dividieron según el dato de metano en la prueba o en el corral en tres grupos siendo los mismos 25% superior, 25% inferior y el 50% intercuartil, así se forman los grupos utilizados para análisis de resultados y formación de la tabla de contingencia. Además, la tabla de contingencia se realizó con el procedimiento PROC FREQ del SAS Institute Inc. (2025), SAS Studio 3.81.

Posteriormente, para evaluar la asociación entre los datos obtenidos en la prueba y los datos generados en condiciones de campo, se emplearon análisis de correlación utilizando los coeficientes de Spearman y Pearson. Ambos coeficientes se calcularon para cada par de variables de interés, utilizando el software estadístico SAS Institute Inc. (2025) con el procedimiento PROC CORR. Para la interpretación de resultados los valores de correlación se clasificaron según su magnitud en baja (<0.3), moderada (0.3-0.5), y alta correlación (>0.5). Se estableció un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  para determinar la relevancia estadística de las asociaciones.

El estudio contó con la aprobación CNEA correspondiente en el Número del protocolo: INIA 30.2023.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Caracterización de la pastura y animales utilizados

La materia seca del forraje ofrecido a corral a las corderas fue de 62,4%. La proteína cruda constituyó el 22,8% de la materia seca. La fibra detergente neutra (FDN) representó el 41,9% y la fibra detergente ácida (FDA) el 33,7%. Por último, el extracto etéreo fue de 1,9% y las cenizas totales sumaron el 11,2%.

A campo natural la altura del forraje promedio fue de 18,8 cm, con una masa de 3420 kg de materia seca por hectárea. Las gramíneas en estado seco predominaron en la composición morfológica, representando el 56,2%, mientras que la fracción verde fue 35,8%. La composición bromatológica muestra una materia seca de 39,3%, con proteína cruda mucho menor que en el corral, apenas alcanzando el 7,8%. La FDN y FDA fueron altas, con 71,9% y 36,0% respectivamente.

**Tabla 1.** Composición morfológica y composición química del forraje ofrecido en el corral a las corderas.

<b>Composición bromatológica</b>	
Materia seca (%)	62,4
Proteína cruda (%)	22,8
Fibra Detergente Neutra (%)	41,9
Fibra Detergente Ácida (%)	33,7
Extracto etéreo (%)	1,9
Cenizas totales (%)	11,2

**Tabla 2.** Características estructurales, composición morfológica y composición química del **campo natural** ofrecido a las corderas.

<b>Características estructurales</b>	
Altura de forraje (cm)	18,8
Masa de forraje (kg MS/ha)	3420
<b>Composición morfológica (%bs)</b>	
Gramíneas fracción verde	35,8
Gramíneas fracción seca	56,2
<b>Composición bromatológica</b>	
Materia seca (%)	39,3
Proteína cruda (%)	7,8
Fibra Detergente Neutra (%)	71,9
Fibra Detergente Ácida (%)	36,0
Cenizas totales (%)	7,3

## 6.2. Estadística descriptiva de características en los animales

En el período a corral el peso vivo inicial de las corderas fue 25 kg, incrementando a 32 kg al final del período. La ganancia media diaria (GMD) fue de 0,156 kg, con un consumo de 1,14 kg de materia seca por día. La eficiencia de conversión fue 13,68 con emisiones de 14,7 g/día de CH<sub>4</sub> y 707 g/día de CO<sub>2</sub>.

En el período a campo natural, las corderas empezaron con un peso vivo de 32 kg promedio, observándose una pérdida de peso, con un peso vivo final de 31 kg promedio. La GMD fue negativa (- 0,020 kg), lo que indica pérdida de peso en el campo natural. Las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> son menores en comparación al corral, con 6,6 g/día de CH<sub>4</sub> y 290 g/día de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 3.** Variables estudiadas en el período en el corral

<b>Variables</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. est.</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Pv inicial (kg)</b>	25,0	4,0	16,5	33,0
<b>Pv final (kg)</b>	32,0	4,5	22,5	40,0
<b>Pv medio (kg)</b>	28,5	4,0	20	37,5
<b>Pv metabólico (kg)</b>	12,5	1,5	9,5	15,0
<b>GMD (kg)</b>	0,156	0,033	0,084	0,233
<b>Consumo (kg)</b>	1,14	0,18	0,59	1,53
<b>Ef. Conversión (EM)</b>	17,0	3,5	12,0	30,0
<b>Emisión CH<sub>4</sub> (g/d)</b>	14,7	3,5	7,4	20,8
<b>Emisión CO<sub>2</sub> (g/d)</b>	707	185	356	1251

Abreviaturas: Pv: peso vivo. GMD: ganancia media diaria. Ef. Conversión: eficiencia de conversión. CH<sub>4</sub>: metano. CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono.

**Tabla 4.** Variables estudiadas en el período en campo natural

<b>Variables</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. est.</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b><i>Pv inicial (kg)</i></b>	32,0	4,0	22,5	40,0
<b><i>Pv final (kg)</i></b>	31,0	4,0	21,5	40,5
<b><i>Pv medio (kg)</i></b>	31,0	4,0	21,0	39,5
<b><i>Pv metabólico (kg)</i></b>	13,0	1,5	10,0	15,5
<b><i>GMD (kg)</i></b>	-0,020	0,037	-0,099	0,059
<b><i>Emisión CH<sub>4</sub> (g/d)</i></b>	6,6	2,4	1,9	10,3
<b><i>Emisión CO<sub>2</sub> (g/d)</i></b>	290	94	104	450

Abreviaturas: Pv: peso vivo. GMD: ganancia media diaria. CH<sub>4</sub>: metano. CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono.

### **6.3. Asociación entre variables**

En cuanto a la correlación de Pearson, existió una alta correlación positiva ( $r = 0,86$ ) entre las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en la pastura. Por otro lado, se observó una alta correlación positiva ( $r = 0,68$ ) entre las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en el corral (Tabla 5).

La correlación entre el peso vivo en pastura y las emisiones de gases como CO<sub>2</sub> ( $r = 0,46$ ) y CH<sub>4</sub> ( $r = 0,33$ ) en pastura fue moderada y positiva, diciendo que las corderas con mayor peso en pastoreo tienden a emitir más CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. También existió una correlación baja y positiva entre las emisiones de CO<sub>2</sub> a corral y en pastura ( $r = 0,29$ ) y con el peso vivo en pastura alta y positiva ( $r = 0,52$ ).

La correlación entre el peso vivo en corral y peso vivo en la pastura fue alta y positiva ( $r = 0,92$ ), así como la correlación moderada y positiva del peso vivo en corral y las emisiones de CH<sub>4</sub> ( $r = 0,30$ ) y CO<sub>2</sub> ( $r = 0,42$ ) en ambos períodos.

Se analizó la correlación entre las ganancias medias diarias (GMD) en el corral y en la pastura. La correlación fue de  $-0,08468$  no significativa.

**Tabla 5.** Correlaciones (y probabilidad, segunda línea) Pearson y Spearman entre las variables de las corderas durante la etapa de corral y en pastoreo. En negrita se destacan las correlaciones significativamente diferentes de 0.

	CH <sub>4</sub> (g/d) pastura		CO <sub>2</sub> (g/d) pastura		Pv (kg) pastura		CH <sub>4</sub> (g/d) corral		CO <sub>2</sub> (g/d) corral	
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
<b>CO<sub>2</sub> (g/d) pastura</b>	<b>0,86</b>	<b>0,72</b>								
	<,0001	<,0001								
<b>Pv (kg) pastura</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,46</b>	<b>0,53</b>						
	0,0112	0,0122	0,0003	<,0001						
<b>CH<sub>4</sub> (g/d) corral</b>	<b>-0,10</b>	<b>-0,10</b>	<b>0,00</b>	<b>0,07</b>	0,25	<b>0,27</b>				
	0,4594	0,4658	0,9858	0,5785	0,0577	0,0431				
<b>CO<sub>2</sub> (g/d) corral</b>	<b>0,11</b>	<b>0,16</b>	<b>0,29</b>	<b>0,35</b>	<b>0,52</b>	<b>0,57</b>	<b>0,68</b>	<b>0,65</b>		
	0,4191	0,2215	0,0299	0,0074	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001		
<b>Pv (kg) corral</b>	<b>0,32</b>	<b>0,33</b>	<b>0,43</b>	<b>0,47</b>	<b>0,92</b>	<b>0,90</b>	<b>0,29</b>	0,24	<b>0,62</b>	<b>0,61</b>
	0,013	0,0124	0,0007	0,0002	<,0001	<,0001	0,0271	0,0704	<,0001	<,0001

Abreviaturas: Pv: peso vivo medio de cada período. CH<sub>4</sub>: metano. CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono. P: Correlación de Pearson. S: Correlación de Spearman.

En el análisis de las correlaciones por turnos (Tabla 6, información adicional en anexos), existió una alta correlación positiva ( $r = 0,96$ ) entre la emisión de CO<sub>2</sub> y emisión de CH<sub>4</sub> en pastura. Esta correlación varió entre turnos, turno 1 ( $r = 0,96$ ) y turno 2 ( $r = 0,52$ ), aumentando levemente en turno 3 ( $r = 0,74$ ) comparando con turno 2. También fue positiva la correlación entre CO<sub>2</sub> y el peso vivo de las corderas en pastura, siendo constante y alta en los primeros dos turnos y en el tercer turno moderada (T1  $r = 0,60$ , T2  $r = 0,55$ , T3  $r = 0,48$ ). Existió una correlación alta positiva en el turno 1 y 2 (T1  $r = 0,52$  y T2  $r = 0,62$ ) entre el PV y emisión de CH<sub>4</sub> en pastura, a diferencia del turno 3 que no fue significativa la correlación.

Existió una correlación moderada positiva entre la emisión de CO<sub>2</sub> en la pastura y el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> del corral, siendo en los turnos 1 y 2 significativa y en el turno 3 no significativa. También se obtuvo una correlación alta positiva en el turno 1 y 2 ( $r = 0,79$ ,  $r = 0,73$  respectivamente) entre CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en corral.

Por último, se obtuvo una alta correlación positiva (T1  $r = 0,94$ , T2  $r = 0,95$ , T3  $r = 0,87$ ) que se mantuvo en los tres turnos entre el peso vivo en pastura y en el corral. Y solamente en el turno 1 en la correlación entre CH<sub>4</sub> y peso vivo del corral se obtuvo una moderada correlación positiva ( $r = 0,47$ ).

**Tabla 6.** Correlación de Pearson y Spearman entre las variables de las corderas alimentadas a corral y a pastoreo por turnos. En negrita se destacan las correlaciones significativamente diferentes de 0.

	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	
	CH4 (g/d) pastura			CO2 (g/d) pastura			Pv (kg) pastura			CH4 (g/d) corral			CO2 (g/d) corral			
CO2 (g/d) pastura	<b>0,96</b>	<b>0,52</b>	<b>0,74</b>		1											
	<b>0,91</b>	<b>0,60</b>	<b>0,72</b>													
Pv (kg) pastura	<b>0,52</b>	<b>0,62</b>	0,24	<b>0,60</b>	<b>0,55</b>	<b>0,48</b>		1								
	<b>0,50</b>	<b>0,46</b>	0,14	<b>0,68</b>	<b>0,53</b>	<b>0,47</b>										
CH4 (g/d) corral	0,17	0,31	0,43	0,26	0,40	<b>0,51</b>	0,42	<b>0,48</b>	0,32			1				
	0,21	0,15	<b>0,46</b>	0,30	0,37	<b>0,54</b>	0,43	<b>0,47</b>	0,32							
CO2 (g/d) corral	0,37	0,31	0,23	<b>0,51</b>	<b>0,62</b>	0,43	<b>0,73</b>	<b>0,60</b>	0,19	<b>0,79</b>	<b>0,73</b>	<b>0,78</b>			1	
	0,35	0,32	0,32	<b>0,52</b>	<b>0,55</b>	0,43	<b>0,76</b>	<b>0,58</b>	0,26	<b>0,76</b>	<b>0,85</b>	<b>0,80</b>				
Pv (Kg) corral	<b>0,47</b>	<b>0,61</b>	0,21	<b>0,56</b>	<b>0,55</b>	0,34	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	<b>0,87</b>	<b>0,47</b>	0,30	0,16	<b>0,78</b>	<b>0,55</b>	0,22	
	<b>0,53</b>	0,33	0,16	<b>0,69</b>	<b>0,49</b>	0,25	<b>0,91</b>	<b>0,93</b>	<b>0,82</b>	<b>0,48</b>	0,40	0,21	<b>0,77</b>	<b>0,59</b>	0,33	

\*Valores del coeficiente de Pearson (arriba) y Spearman (abajo)

#### 6.4. Asociación entre la emisión de metano a corral y a pastoreo

En la tabla 7 se presentan los resultados que indican que los animales que emitieron bajos niveles de CH<sub>4</sub> en el corral no fueron los mismos que lo hicieron en la pastura. Solo 3 animales de un total de 59 mostraron alta emisión en ambos ambientes, mientras que 4 animales emitieron bajos niveles en ambos. Además, se destaca que 17 animales presentaron emisión moderada tanto en la pastura como en el corral.

La probabilidad de que un animal emita igual o menor concentración de CH<sub>4</sub> en ambos ambientes varió entre los tres turnos. En el **turno 1**, de los 20 animales evaluados solo 2 animales tuvieron una emisión moderada en ambos ambientes, y 3 mostraron emisiones bajas en ambos. Los otros 15 animales emitieron de manera diferente entre los dos ambientes.

En el **turno 2**, 9 animales emitieron de forma moderada en ambos ambientes, mientras que solo 1 animal emitió bajos niveles en ambos. Los otros 10 animales presentaron emisiones diferentes en cada ambiente. En el **turno 3**, 9 animales mostraron el mismo patrón de emisión en ambos ambientes: 3 con alta emisión y 6 con emisión moderada. Los otros 10 animales emitieron de manera diferente. En conclusión, la probabilidad de que un mismo animal emitió metano en las mismas concentraciones en el corral y en la pastura es media, dado que la correlación entre ambas emisiones es baja.

**Tabla 7.** Tabla de contingencia comparando emisión de metano a corral y a pastoreo.

		Pastura			
		Alto	Medio	Bajo	
	Corral				
Total	Alto	3	6	6	n=59
	Medio	8	17	5	
	Bajo	3	7	4	
Turno 1	Alto	0	4	6	n=20
	Medio	0	2	4	
	Bajo	0	1	3	
Turno 2	Alto	0	1	0	n=20
	Medio	4	9	0	
	Bajo	1	4	1	
Turno 3	Alto	3	1	0	n=19
	Medio	4	6	1	
	Bajo	2	2	0	

## 7. DISCUSIÓN

La relación entre las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) en los dos ambientes estudiados, corderas en corral y a pastoreo, fue baja y negativa ( $r = -0,10$ ), lo que indica diferencias en las emisiones de acuerdo con el tipo de ambiente. En esta tesis, se esperaba una correlación positiva y alta ( $r > 0,5$ ), por lo que se rechaza la hipótesis planteada. Este resultado puede explicarse por varios factores que afectan las emisiones de metano en rumiantes. Según diversos autores (Johnson y Johnson, 1995; Velazco et al., 2017; Hammond et al., 2013), la composición del alimento influye significativamente en las emisiones de  $\text{CH}_4$  por unidad de alimento consumido. En la caracterización del alimento ofrecido en el corral de esta prueba, se observó que el forraje de alfalfa contenía una proteína cruda de 22,8%, mientras que el campo natural utilizado en pastoreo tenía 7,8%, entre otras diferencias en la composición, siendo peor calidad la pastura en comparación con la alimentación a corral. Vargas et al. (2012) también documentaron variaciones en las emisiones de  $\text{CH}_4$  dependiendo de las especies forrajeras ofrecidas, un mayor contenido de fibra tiende a disminuir las tasas de paso y el consumo de MS. De Barbieri et al. (2015) y Muir et al. (2021), también reportaron diferencias observando un menor rendimiento de metano ( $\text{CH}_4$  por kg de MS ingerida) en los animales con mayores consumos de MS. Esto demuestra que es importante la calidad y el manejo de las pasturas para favorecer aumento en la tasa de paso y el consumo voluntario, y así disminuir por unidad de MS la emisión de metano.

El patrón circadiano de emisión de  $\text{CH}_4$  está influenciado por la cantidad de alimento ofrecido y la frecuencia de alimentación, ya que las emisiones disminuyen con un mayor consumo de alimento según Jonker et al. (2014). Las emisiones son bajas antes de la comida y aumentan durante la alimentación, pero este cambio en las tasas circadianas de emisión de  $\text{CH}_4$  disminuye con el aumento de la calidad del alimento, cuando más varía es cuando el alimento es restringido, en este caso la alimentación en ambos ambientes fue ad libitum, habiendo comida ad libitum en el corral y también a pastoreo con buena disponibilidad forrajera. Lo importante a destacar sumado a esto, es la calidad que consume ese animal, siendo menor en pastoreo que a corral, lo cual se traduce en un menor consumo, explicado por una restricción en el consumo por la calidad del forraje (alta FDN, FDA, baja PC). Sumado a esto, las variaciones observadas entre los ambientes a corral o a pastoreo también fueron reportadas en otros estudios como Robinson et al., 2010; Pinares-Patiño et al., 2011a; 2013; Pickering et al., 2015; Goopy et al., 2016. Es por esta razón que se hicieron para las mediciones a pastoreo, grupos y subgrupos para que en ambas mediciones el mismo animal sea medido a la misma hora.

El tiempo de espera entre el consumo y la medición es otro factor a considerar para las mediciones, y es por eso que el manejo aplicado fue diferente para cada ambiente. En el corral, los animales fueron alimentados durante una hora por la mañana, antes de proceder a la primera medición en las cámaras de respiración. En cambio, en el pastoreo, los animales fueron traídos del campo y, después de una hora de reposo sin alimento, se realizaron las mediciones. Este manejo diferencial puede haber influido en los resultados, ya que, por ejemplo, Robinson et al. (2014a) observaron variación en la tasa de emisión de  $\text{CH}_4$ , donde las ovejas que no habían comido desde la tarde anterior hasta una hora antes de la medición mostraron emisiones más bajas, las cuales continuaron disminuyendo. En un estudio posterior,

encontraron que proporcionar alimento antes de la medición generaba más variabilidad, dado que las ovejas comían cantidades diferentes. Además, un estudio reciente demostró que retirar el alimento entre 0 y 1 hora antes de las mediciones producía resultados más precisos (Robinson et al., 2020). Por lo tanto, sugerimos que, en un nuevo protocolo de medición, se retire el alimento una hora antes de las mediciones tanto en corral como en pastoreo, para obtener resultados más precisos y en condiciones homogéneas para ambos ambientes. Adicionalmente, los animales deben tener la oportunidad de alimentarse previo al ayuno de 1 hora, por lo tanto, es necesario re evaluar los horarios de medición en corral y pastoreo, y en concordancia con la época del año, dado que los horarios de alimentación varían con las horas luz, temperatura, entre otros.

En esta tesis, se presentaron dos escenarios nutricionales contrastantes, esto lo podemos ver en la ganancia media diaria (GMD) la cual dio una correlación de cero demostrando que los animales de mayor ganancia en el corral no lo son en pastoreo (ambiente restrictivo). En la etapa a corral, los animales comenzaron con un peso medio de 25 kg y terminaron con un peso promedio de 32 kg, lo que refleja una GMD de 0,156 kg. En cambio, en la etapa a pastoreo, los animales comenzaron con un peso promedio de 32 kg y finalizaron con 31 kg, mostrando una GMD negativa de -0,020 kg. Esto pone de manifiesto la importancia de evaluar la interacción  $G \times E$  (genotipo  $\times$  ambiente) en el análisis de las emisiones y el rendimiento animal, en donde el mejor animal en este ambiente "bueno", no lo es en el ambiente "malo", el animal que en ambos ambientes no se ve afectada su producción es el "mejor". Entonces se podría decir que no son los que consumen mayor MS tampoco, por lo tanto, no se debería esperar que haya la misma emisión de  $CH_4$  en ambos ambientes. Además, el estrés ambiental y sanitario, sumado a la mala calidad forrajera ofrecida a las corderas en la prueba a pastoreo son factores que afectan la ganancia media diaria de estos animales. En Uruguay, el promedio de precipitaciones para el norte del país en verano y otoño es de 380 mm. Durante el presente experimento, el total de precipitaciones fue de 665mm, de los cuales 380mm fueron en el momento de la prueba a pastoreo (Barreiro et al., 2021) (Figura 10). Esto generó mayores problemas sanitarios como parásitos gastrointestinales y afecciones podales en las corderas, las cuales requirieron tratamiento. En este caso, no sería un problema a mejorar del protocolo, sino que los ambientes son tan contrastantes, que no va a haber una alta correlación en ninguna de las variables. Así se demuestra que sí hay una interacción  $G \times E$ .

Como fue comentado en el párrafo anterior, las diferencias observadas en las emisiones de gases, como  $CO_2$  y  $CH_4$ , entre los diferentes ambientes podrían explicarse por la interacción genotipo  $\times$  ambiente ( $G \times E$ ). La eficiencia de un animal en un ambiente no siempre se refleja en otro (García-Baccino et al., 2021), lo que sugiere que no es necesario ajustar los protocolos en términos generales, ya que el animal más eficiente en el corral no necesariamente lo será en el pastoreo. En este estudio, se evaluaron a los animales en distintos turnos, ya que los horarios de medición pueden verse influenciados por el ritmo circadiano (Jonker et al., 2014), la cantidad de alimento consumido y el tiempo transcurrido desde la última ingesta. Se observó que los animales que emitían más metano en el corral no eran los mismos que emitían más metano en el pastoreo, y viceversa. Por lo tanto, lo ideal sería medir las emisiones de cada animal en el ambiente específico en el que se desarrollará, para seleccionar al animal más adecuado para ese entorno. Por otro lado, Hegarty et al., (2007), muestran que la expresión fenotípica de la diversidad genética en RFI fue

evidente en la variación fenotípica, con una reducción de 1.17 kg de MS en el consumo (DMI, por sus siglas en inglés) por kilogramo de RFI, en el cual no varía la alimentación ni el ambiente. Dini (2018) encontró que los animales más eficientes, aquellos con menor consumo residual de alimento (RFI), consumieron menos alimento, emitiendo un 27% menos de CH<sub>4</sub> en comparación con los menos eficientes. Estos resultados indican que la selección basada en la eficiencia de RFI podría ser una estrategia prometedora para reducir las emisiones de metano, y puede implementarse junto con el manejo adecuado de la dieta.

Las correlaciones entre los métodos de medición y las situaciones de alimentación fueron bajas, lo que destaca la importancia de la dieta en las emisiones. Por otro lado, Robinson et al. (2016) observaron altas correlaciones para las mediciones de PAC ( $r = 0.81$  a  $0.85$ ) con el consumo promedio antes de la medición, lo que sugieren que las mediciones de emisiones de metano mediante PAC pueden proporcionar información útil sobre la ingesta de alimento y la eficiencia, especialmente en situaciones (por ejemplo, pastoreo) donde la medición directa de consumo no es práctica.

En este ensayo se incluyeron dos mediciones en corral separadas por 7 días, de las cuales solo una fue utilizable, quedando una medición por animal. Piñares et al. (2011), realizaron tres mediciones separadas por 14 días y obtuvieron resultados consistentes y bajos. Esto sugiere que aumentar el número de mediciones podría mejorar la precisión y reducir la variabilidad observada. Robinson et al. (2014) observaron que la correlación entre las mediciones de metano a los 40 minutos y a 1 hora fue alta ( $r = 0.94$ ), sugiriendo que una segunda medición podría proporcionar información adicional, aunque con un tiempo reducido en el PAC. Para las pruebas repetidas, aconsejan esperar al menos 3 días para evitar influencias de la ingesta previa de alimento. Idealmente, se podrían considerar intervalos de 2 semanas, dado que la repetibilidad de las mediciones de emisiones de metano después de 2 semanas es mucho más baja (0.26) en comparación con días consecutivos (0.89).

La correlación entre el peso vivo en corral y el peso vivo en pastura fue alta y positiva ( $r = 0,92$ ), y también se observó una correlación moderada y positiva entre el peso vivo en corral y las emisiones de CH<sub>4</sub> ( $r = 0,30$ ) y CO<sub>2</sub> ( $r = 0,42$ ) en ambos períodos. Cuando se separaron los datos en turnos, se observó una correlación positiva significativa entre el peso vivo y las emisiones de CH<sub>4</sub> en pastura en los turnos 1 y 2 (T1  $r = 0,52$  y T2  $r = 0,62$ ), mientras que en el turno 3 la correlación no fue significativa. Estos resultados coinciden con los de Goopy et al. (2016), quienes encontraron que el peso vivo es un factor importante en la producción de metano. El peso vivo posee una correlación positiva moderada a alta con consumo y por lo tanto con la emisión de metano. En consecuencia, la selección por peso vivo sin considerar consumo o emisión, conducirá a un incremento del consumo y las emisiones.

## **8. CONCLUSIONES**

La emisión de metano (CH<sub>4</sub>) por parte de los animales varía considerablemente en función de varios factores clave, tales como el ambiente, el genotipo, el horario, así como el tipo, la calidad y la cantidad del alimento proporcionado. Cada uno de estos factores influye de manera significativa en los niveles de metano emitidos, lo que resalta la complejidad de la medición en condiciones variables. Para seleccionar

animales más eficientes y con menor emisión de metano, es fundamental que las mediciones se realicen bajo condiciones controladas y uniformes. Esto implica asegurar que el ambiente, el tipo de alimento, el horario de alimentación y el consumo sean consistentes para todos los individuos en estudio. Solo de esta manera podremos obtener datos más confiables y comparables, lo que facilita la selección de animales con una menor emisión. Es por eso que se propone un protocolo de medición para identificar animales más eficientes en cuanto a emisiones de metano. Este protocolo debería validarse tanto en corral como en pastura, incluyendo al menos tres mediciones separadas por tres días. Además, se recomienda un retiro uniforme del alimento antes de las mediciones. Los resultados obtenidos no encuentran correlación alta entre las emisiones de CH<sub>4</sub> en corral como a pastoreo, como tampoco una correlación en las ganancias medias diarias de los animales en ambos ambientes. El uso de dietas similares en ambos ambientes debería considerarse para mejorar el protocolo y reducir la variabilidad. Además, tener en cuenta la interacción genotipo × ambiente para determinar si un animal eficiente en corral también lo es en la pastura.

## Referencias bibliográficas

- Amarilho-Silveira, F., de Barbieri, I., Cobuci, J. A., Balconi, C. M., de Ferreira, G. F., & Ciappesoni, G. (2022). Residual feed intake for Australian Merino sheep estimated in less than 42 days of trial. *Livestock Science*, 258, 104889. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104889>
- Association Official of Analytical Chemists. (1990). *Official Methods of Analysis*. (15° ed.) AOAC
- Association Official of Analytical Chemists. (1995). *Official Methods of Analysis*. (16° ed.) AOAC
- Association Official of Analytical Chemists. (2012). *Official Methods of Analysis*. (19° ed.) AOAC
- Arthur, P. F., & Herd, R. M. (2005). Efficiency of feed utilization by livestock: Implications and benefits of genetic improvement. *Canadian Journal of Animal Science*, 85(3), 281–290. <https://doi.org/10.4141/A04-069>
- Azevedo, E. B., Poli, C. H. E. C., David, D. B., Amaral, G. A., Fonseca, L., Carvalho, P. C. F., Fischer, V., & Morris, S. T. (2014). Use of faecal components as markers to estimate intake and digestibility of grazing sheep. *Livestock Science*, 165(1), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.001>
- Barreiro, M., Arizmendi, F., Díaz, N., & Trinchin, R. (2021). *Análisis del clima y escenarios de cambio y variabilidad climática en Uruguay*. CONVENIO PNUD-UDELAR Proyecto URU/18/002 “Integración del enfoque de adaptación en ciudades, infraestructura y ordenamiento territorial en Uruguay”. [https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/FCIEN\\_Análisis%20del%20clima%20y%20escenarios%20de%20cambio%20y%20variabilidad%20climática%20en%20Uruguay.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/FCIEN_Análisis%20del%20clima%20y%20escenarios%20de%20cambio%20y%20variabilidad%20climática%20en%20Uruguay.pdf)
- Blumetto, O., De Barbieri, I., Navajas, E., Baethgen, W., Becoña, G., & Ciappesoni, G. (2023). *Ganadería regenerativa en Uruguay*. INIA.
- Cammack, K. M., Leymaster, K. a., Jenkins, T. G., & Nielsen, M. K. (2005). Estimates of genetic parameters for feed intake, feeding behavior, and daily gain in composite ram lambs. *Journal of Animal Science*, 83(4), 777–785.
- Cantalapiedra-Hijar, G., Abo-Ismael, M., Carstens, G. E., Guan, L. L., Hegarty, R., Kenny, D. A., McGee, M., Plastow, G., Relling, A., & Ortigues-Marty, I. (2018). Review: Biological determinants of between-animal variation in feed efficiency of growing beef cattle. *Animal*, 12, Suppl. 2 1–15. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001489>
- Cockrum, R. R., Stobart, R. H., Lake, S. L., & Cammack, K. M. (2013). Phenotypic variation in residual feed intake and performance traits in rams. *Small Ruminant Research*, 113(2–3), 313–322. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.05.001>

- Custodio Dolz, C., & Echenagusía Martínez, A. (2022). *Evaluación del consumo, ambiente ruminal y emisión de metano de borregos alimentados con campo natural*. [Tesis de grado. Facultad de Veterinaria, UDELAR]. Colibrí. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/36230/1/FV-35333.pdf>
- De Barbieri, I., Hegarty, R. S., Li, L., & Oddy, V. H. (2015). Association of wool growth with gut metabolism and anatomy in sheep. *Livestock Science*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.12.018>
- De Barbieri, I., Viñoles, C., Montossi, F., Luzardo, S., & Ciappesoni, G. (2021). Productive and reproductive consequences of crossbreeding Dohne Merino with Corriedale in Uruguayan sheep production systems. *Animal Production Science*, 62(1), 29–39.
- De Barbieri, I., Navajas, E., Ramos, Z., Ferreira, G., Velazco, J., & Ciappesoni, G. (2022). Vinculando la eficiencia en conversión del alimento con características productivas y mitigación de metano. *Revista INIA*, 69, 8-11.
- De Barbieri, I., Navajas, E. A., Ramos, Z., Ferreira, G., Velazco, J., & Ciappesoni, G. (2024). Feed conversion efficiency does not negatively affect young sheep and ewe performance. *Frontiers in Animal Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1480928>
- Dini Vilar, Y. (2018). *Estrategias de mitigación de la emisión de metano en vacunos de carne*. [Tesis de doctorado. Facultad de Veterinaria, UDELAR]. Colibrí. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/24110/1/FV-33733.pdf>
- Dini, Y., Gere, J. I., Cajarville, C., & Ciganda, V. S. (2018). Using highly nutritious pastures to mitigate enteric methane emissions from cattle grazing systems in South America. *Animal Production Science*, 58(12), 2329–2334. <https://doi.org/10.1071/AN16803>
- García-Baccino, C. A., Marie-Etancelin, C., Tortereau, F., Marcon, D., Weisbecker, J. L., & Legarra, A. (2021). Detection of unrecorded environmental challenges in high-frequency recorded traits, and genetic determinism of resilience to challenge, with an application on feed intake in lambs. *Genetics Selection Evolution*, 53(1). <https://doi.org/10.1186/s12711-020-00595-x>
- Georing, H. K., & Van Soest, P. J. (1970). *Forage fiber analysis (apparatus, reagent procedures and some applications)*. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture.
- González, M., la Torraca, A., & Vozzi, A. (2012). El consumo residual como indicador de eficiencia en genotipos Merino y Dohne Merino. *Anuario Merino*, 60–63.
- Goopy, J. P., Robinson, D. L., Woodgate, R. T., Donaldson, A. J., Oddy, V. H., Vercoe, P. E., & Hegarty, R. S. (2016). Estimates of repeatability and heritability of methane production in sheep using portable accumulation chambers. *Animal Production Science*, 56, 116–122. <https://doi.org/10.1071/AN13370>
- Goopy, J. P., Woodgate, R., Donaldson, a., Robinson, D. L., & Hegarty, R. S. (2011). Validation of a short-term methane measurement using portable static chambers to

estimate daily methane production in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.012>

Hammond, K. J., Burke, J. L., Koolaard, J. P., Muetzel, S., Pinares-Patino, C. S., & Waghorn, G. C. (2013). Effects of feed intake on enteric methane emissions from sheep fed fresh white clover (*Trifolium repens*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*) forages. *Animal Feed Science and Technology*, 179, 121–132. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.11.004>

Hegarty, R. S., Goopy, J. P., Herd, R. M., & McCorkell, B. (2007). Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *Journal of Animal Science*, 85, 1479–1486. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-236>

Herd, R. M., & Arthur, P. F. (2009). Physiological basis for residual feed intake. *Journal of Animal Science*, 87, Suppl. 14, E64–E71. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1345>

Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane Emissions from Cattle. *Journal of Animal Science*, 73, 2483–2492.

Jonker, A., Hickey, S. M., Rowe, S. J., Janssen, P. H., Shackell, G., Elmes, S., Bain, W., Wing, J., Geer, G., Bryson, B., MacLean, S., Dodds, K., Pinares-Patiño, C., Young, E., Knowler, K., Pickering, N., & MacLean, S. (2018). Genetic parameters of methane emissions determined using portable accumulation chambers in lambs and ewes grazing pasture and genetic correlations with emissions determined in respiration chambers. *Journal of Animal Science* 96(8), 3031–3042. <https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1416678>

Jonker, A., Molano, G., Antwi, C., & Waghorn, G. (2014). Feeding lucerne silage to beef cattle at three allowances and four feeding frequencies affects circadian patterns of methane emissions, but not emissions per unit of intake. *Animal Production Science*, 54(9), 1350–1353. <https://doi.org/10.1071/AN14235>

Jonker, A., Molano, G., Antwi, C., & Waghorn, G. C. (2016). Enteric methane and carbon dioxide emissions measured using respiration chambers, the sulfur hexafluoride tracer technique, and a GreenFeed head-chamber system from beef heifers fed alfalfa silage at three allowances and four feeding frequencies. *Journal of Animal Science*, 94, 4326–4337. <https://doi.org/10.2527/jas2016.1075>

Jonker, A., & Waghorn, G. C. (2020). *Guidelines for estimating methane emissions from individual ruminants using: GreenFeed, “sniffers”, hand-held laser detector and portable accumulation chambers*. Ministry for Primary Industries. [https://www.researchgate.net/publication/348976905\\_Guidelines\\_for\\_estimating\\_methane\\_emissions\\_from\\_individual\\_ruminants\\_using\\_GreenFeed\\_'sniffers'\\_hand-held\\_laser\\_detector\\_and\\_portable\\_accumulation\\_chambers](https://www.researchgate.net/publication/348976905_Guidelines_for_estimating_methane_emissions_from_individual_ruminants_using_GreenFeed_'sniffers'_hand-held_laser_detector_and_portable_accumulation_chambers)

Kenny, D. A., Fitzsimons, C., Waters, S. M., & McGee, M. (2018). Invited review: Improving feed efficiency of beef cattle - The current state of the art and future challenges. *Animal*, 12(9), 1815–1826. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000976>

- Koch, R., Swiger, L., Chambers, D., & Gregory, K. (1963). Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 22, 486–494. <https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x>
- Kozloski, G. V., Oliveira, L., Poli, C. H. E. C., Azevedo, E. B., David, D. B., Ribeiro Filho, H. M. N., & Collet, S. G. (2014). Faecal nitrogen excretion as an approach to estimate forage intake of wethers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98, 659–666. <https://doi.org/10.1111/jpn.12118>
- Kozloski, G. V., Zilio, E. M. C., Ongarato, F., Kuinchtner, B. C., Saccol, A. G., Genro, T. C. M., Oliveira, L., Faria, B. M., Cezimbra, I. M., & Quadros, F. L. F. (2018). Faecal N excretion as an approach for estimating organic matter intake by free-ranging sheep and cattle. *Journal of Agricultural Science*, 1, 1–7. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n5p1>
- Marques, C. B., De Barbieri, I., Velazco, J., Navajas, E. A., & Ciappesoni, G. (2022). Genetic parameters for feed efficiency, gas emissions, oxygen consumption and wool traits in Australian Merino. *Proceedings of the 12th WCGALP*. Rotterdam, The Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s00360-022-01776-8>
- Methol, M. (2005). *Emisión de metano en sistemas pastoriles de producción ganadera*. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4922/1/METHOL-M.-2005.-Emision-de-metano.pdf>
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2019). *Encuesta ganadera 2016*. [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/encuesta\\_ganadera\\_2016\\_22012019.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/encuesta_ganadera_2016_22012019.pdf)
- Ministerio de Ambiente de la República Oriental del Uruguay. (2023). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2020*. Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático (SNRCC). [https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2024-01/INGEI\\_Serie\\_1990-2020.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2024-01/INGEI_Serie_1990-2020.pdf)
- Montossi, F., De Barbieri, I., Ciappesoni, G., Luzardo, S., Brito, G., Soares de Lima, J. M., Viñoles, C., San Julián, R., Silveira, C., Porcile, V., Ramos, Z., & Mederos, A. (2014). La Raza Merino Dohne en el Uruguay: Los aportes de la investigación e innovación del INIA. En Berretta, E.; Montossi, F.; Brito, G. (Ed.). *Alternativas tecnológicas para los sistemas ganaderos del basalto*. (pp. 405-434) Inia.
- Muir, S. K., Linden, N., Kennedy, A., Knight, M. I., Paganoni, B., Kearney, G., Thompson, A. N., & Behrendt, R. (2020). Correlations between feed intake, residual feed intake and methane emissions in Maternal Composite ewes at post weaning, hogget and adult ages. *Small Ruminant Research*, 192, 106241. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106241>
- Navajas, E. A., Ciappesoni, G., Gimeno, D., Velazco, J. I., & De Barbieri, I. (2022). Association of genetic resistance to internal nematodes and production traits on feed efficiency and methane emissions in Corriedale lambs. In *Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP) Technical and species orientated innovations in animal breeding, and contribution of genetics to solving societal challenges* (pp. 195-198). Wageningen Academic Publishers.

- O' Connor, E., McGovern, F. M., Berry, D. P., Dunne, E., McEwan, J. C., Rowe, S. J., Boland, T. M., Morrison, S. J., Aubry, A., Yan, T., & McHugh, N. (2024). Comparison of greenhouse gas emissions from sheep measured using both respiration and portable accumulation chambers. *Animal*, 18(5), 101140. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101140>
- Oddy, V. H., de Haas, Y., Basarab, J., Cammack, K., Hayes, B., Hegarty, R. S., Lassen, J., McEwan, J. C., Miller, S., Pinares-Patino, C. S., Shackell, G., & Vercoe, P. (2014). Breeding Ruminants that Emit Less Methane – The Role of International Collaboration. [Ponencia] World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 10. <https://doi.org/10.13140/2.1.2654.1441>
- Paganoni, B., Rose, G., Macleay, C., Jones, C., Brown, D. J., Kearney, G., Ferguson, M., & Thompson, A. N. (2017). More feed efficient sheep produce less methane and carbon dioxide when eating high-quality pellets. *Journal of Animal Science*, 95(9), 3839–3850. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1499>
- Peripolli, V., Prates, Ê. R., Barcellos, J. O. J., & Neto, J. B. (2011). Fecal nitrogen to estimate intake and digestibility in grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 163, 170–176. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.12.003>
- Pickering, N. K., Oddy, V. H., Basarab, J., Cammack, K., Hayes, B., Hegarty, R. S., Lassen, J., McEwan, J. C., Miller, S., Pinares-Patiño, C. S., & de Haas, Y. (2015). Animal board invited review: genetic possibilities to reduce enteric methane emissions from ruminants. *Animal*, 9(9), 1431–1440. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000968>
- Pinares-Patiño, C.S., McEwan, J.C., Dodds, K.G., Cárdenas, E.A., Hegarty, R.S., Koolgaard, J.P., & Clark, H. (2011). Repeatability of methane emissions from sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 210-218. ISSN 0377-8401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.068>
- Pinares-Patiño, C. S., Hickey, S. M., Young, E. A., Dodds, K. G., MacLean, S., Molano, G., Sandoval, E., Kjestrup, H., Harland, R., Hunt, C., Pickering, N. K., & McEwan, J. C. (2013). Heritability estimates of methane emissions from sheep. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 7, Suppl 2, 316–321. <https://doi.org/10.1017/s1751731113000864>
- Ramírez-Bribiesca, J.E. (2018). Chemical-physiological events of methane in ruminants. *Agroproductividad*, 11(2), 22-33
- Redden, R. R., Surber, L. M. M., Grove, a. V., & Kott, R. W. (2013). Growth efficiency of ewe lambs classified into residual feed intake groups and pen fed a restricted amount of feed. *Small Ruminant Research*, 114(2–3), 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.07.002>
- Redden, R. R., Surber, L. M. M., Grove, A. v., & Kott, R. W. (2014). Effects of residual feed intake classification and method of alfalfa processing on ewe intake and growth. *Journal of Animal Science*, 92(2), 830–835. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6768>

- Robinson, D. L., Goopy, J. P., Hegarty, R. S., & Vercoe, P. (2010). *Repeatability, animal and sire variation in 1-hr methane emissions and relationships with rumen volatile fatty acid concentrations*. In Proceedings of the 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Leipzig, Germany (pp. 1-6).
- Robinson, D. L., Goopy, J. P., Hegarty, R. S., Oddy, V. H., Thompson, A. N., Toovey, A. F., Macleay, A., Briegal, J. R., Woodgate, R. T., Donaldson, A. J., & Vercoe, P. E. (2014). Genetic and environmental variation in methane emissions of sheep at pasture. *Journal of Animal Science*, *92*, 4349–4363. <https://doi.org/10.2527/jas2014-8042>
- Robinson, D. L., Cameron, M., Donaldson, A. J., Dominik, S., & Oddy, V. H. (2016). One-hour portable chamber methane measurements are repeatable and provide useful information on feed intake and efficiency. *Journal of Animal Science*, *94*(10), 4376–4387. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0620>
- Robinson, D. L., Dominik, S., Donaldson, A. J., & Oddy, V. H. (2020). Repeatabilities, heritabilities and correlations of methane and feed intake of sheep in respiration and portable chambers. *Animal Production Science*, *60*(7), 880. <https://doi.org/10.1071/AN18383>
- Savian, J. V., Schons, R. M. T., Marchi, D. E., Freitas, T. S. de, da Silva Neto, G. F., Mezzalira, J. C., Berndt, A., Bayer, C., & Carvalho, P. C. de F. (2018). Rotatinuous stocking: A grazing management innovation that has high potential to mitigate methane emissions by sheep. *Journal of Cleaner Production*, *186*, 602–608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.162>
- Tafernaberry, A. I., Savian, J. V., Kessler, J. D., Ciappesoni, G., Jaurena, M., Fernández-Turren, G., & de Barbieri, I. (2024). Using faecal nitrogen as a marker to estimate intake and digestibility in sheep fed multi-species native forage. *Animal Feed Science and Technology*, *314*, 115996. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115996>
- Trujillo, J., et al. (2015). *Eficiencia alimenticia en bovinos de carne en pastoreo*. Serie INIA FPTA, 59.
- Vargas, J., Cárdenas, M. Pabón, M., & Carulla, J. (2012). Emisión de Metano Entérico en Rumiantes en Pastoreo. *Archivos de zootecnia*, *61*(237), 51-66.
- Velazco, J. I., Herd, R. M., Cottle, D. J., & Hegarty, R. S. (2017). Daily methane emissions and emission intensity of grazing beef cattle genetically divergent for residual feed intake. *Animal Production Science*, *57*, 627–635. <https://doi.org/10.1071/AN15111>
- Yemm, E. W., & Willis, A. J. (1954). The estimation of carbohydrates in plant extract by anthrone. *Biochemical Journal*, *57*, 508. <https://doi.org/10.1042/bj0570508>

## ANEXOS

**Tabla 8.** Correlación de Pearson y Spearman entre las variables de las corderas alimentadas a corral y a pastoreo en el turno 1. En negrita se destacan las correlaciones significativas diferentes de 0.

TURNO 1 n=20										
	CH4 (g/d) pastura		CO2 (g/d) pastura		PV (kg) pastura		CH4 (g/d) corral		CO2 (g/d) corral	
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
<b>CO2 (g/d) pastura</b>	<b>0,96</b>	<b>0,91</b>								
	<,0001	<,0001								
<b>Pv (kg) pastura</b>	<b>0,52</b>	<b>0,50</b>	<b>0,60</b>	<b>0,68</b>						
	0,0211	0,031	0,0063	0,0013						
<b>CH4 (g/d) corral</b>	<b>0,17</b>	<b>0,21</b>	<b>0,26</b>	<b>0,30</b>	<b>0,42</b>	<b>0,43</b>				
	0,493	0,3992	0,29863	0,2177	0,0763	0,069				
<b>CO2 (g/d) corral</b>	<b>0,37</b>	<b>0,35</b>	<b>0,51</b>	<b>0,52</b>	<b>0,73</b>	<b>0,76</b>	<b>0,79</b>	<b>0,76</b>		
	0,1169	0,1429	0,026	0,0227	0,0004	0,0002	<,0001	0,0001		
<b>Pv (kg) corral</b>	<b>0,47</b>	<b>0,53</b>	<b>0,56</b>	<b>0,69</b>	<b>0,94</b>	<b>0,91</b>	<b>0,47</b>	<b>0,48</b>	<b>0,78</b>	<b>0,77</b>
	0,0412	0,0201	0,0122	0,001	<,0001	<,0001	0,0403	0,0372	<,0001	0,0001

Abreviaturas: Pv: peso vivo. CH4: metano. CO2: dióxido de carbono.

**Tabla 9.** Correlación de Pearson y Spearman entre las variables de las corderas alimentadas a corral y a pastoreo en el turno 2. En negrita se destacan las correlaciones significativas diferentes de 0.

TURNO 2 n=20										
	CH4 (g/d) pastura		CO2 (g/d) pastura		PV (kg) pastura		CH4 (g/d) corral		CO2 (g/d) corral	
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
<b>CO2 (g/d) pastura</b>	<b>0,52</b>	<b>0,60</b>								
	0,0178	0,0048								
<b>Pv (kg) pastura</b>	<b>0,62</b>	<b>0,46</b>	<b>0,55</b>	<b>0,53</b>						
	0,0035	0,04	0,0124	0,0175						
<b>CH4 (g/d) corral</b>	<b>0,31</b>	<b>0,15</b>	<b>0,40</b>	<b>0,37</b>	<b>0,48</b>	<b>0,47</b>				
	0,1877	0,5352	0,0809	0,1053	0,0326	0,0345				
<b>CO2 (g/d) corral</b>	<b>0,31</b>	<b>0,32</b>	<b>0,62</b>	<b>0,55</b>	<b>0,60</b>	<b>0,58</b>	<b>0,73</b>	<b>0,85</b>		
	0,183	0,1623	0,0035	0,0122	0,0053	0,0077	0,0003	<,0001		
<b>Pv (kg) corral</b>	<b>0,61</b>	<b>0,33</b>	<b>0,55</b>	<b>0,49</b>	<b>0,95</b>	<b>0,93</b>	<b>0,30</b>	<b>0,40</b>	<b>0,55</b>	<b>0,59</b>
	0,0046	0,1562	0,0111	0,0266	<,0001	<,0001	0,2032	0,0806	0,0115	0,0062

Abreviaturas: Pv: peso vivo. CH4: metano. CO2: dióxido de carbono.

**Tabla 10.** Correlación de Pearson y Spearman entre las variables de las corderas alimentadas a corral y a pastoreo en el turno 3. En negrita se destacan las correlaciones significativas diferentes de 0.

TURNO 3 n=19										
	CH4 (g/d) pastura		CO2 (g/d) pastura		PV (kg) pastura		CH4 (g/d) corral		CO2 (g/d) corral	
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
<b>CO2 (g/d) pastura</b>	<b>0,74</b>	<b>0,72</b>								
	0,0003	0,0005								
<b>Pv (kg) pastura</b>	0,24	<b>0,14</b>	<b>0,48</b>	<b>0,47</b>						
	0,3267	0,554	0,0363	0,0403						
<b>CH4 (g/d) corral</b>	0,234	0,125	-0,073	-0,093	-0,169	-0,136				
	0,3348	0,6114	0,7673	0,705	0,4899	0,5786				
<b>CO2 (g/d) corral</b>	0,14	0,04	0,04	0,02	-0,04	0,21	0,43	0,36		
	0,5795	0,881	0,8854	0,9262	0,8557	0,3947	0,069	0,1304		
<b>Pv (kg) corral</b>	0,19	0,19	0,29	0,25	<b>0,87</b>	<b>0,82</b>	0,16	0,21	0,22	0,33
	0,4298	0,4243	0,2297	0,2967	<,0001	<,0001	0,7055	0,6524	0,358	0,1631

Abreviaturas: Pv: peso vivo. CH<sub>4</sub>: metano. CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono.