

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO POR VACAS  
LACTANTES Y SECAS EN PASTURAS RYE-  
GRASS/TRÉBOL EN ZONA ALTOANDINA PERUANA”**

**Presentada por:**

**CATHERINE YASMIN SALAS RIEGA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN**

**Lima - Perú  
2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**

**“EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO POR VACAS  
LACTANTES Y SECAS EN PASTURAS RYE-  
GRASS/TRÉBOL EN ZONA ALTOANDINA PERUANA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**CATHERINE YASMIN SALAS RIEGA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Mg.Sc. Alejandrina Sotelo Méndez  
**PRESIDENTE**

Ph.D. Carlos Gómez Bravo  
**ASESOR**

Mg.Sc. Víctor Hidalgo Lozano  
**MIEMBRO**

Ph.D. Víctor Guevara Carrasco  
**MIEMBRO**

Ph.D. Javier Ñaupari Vásquez  
**CO-ASESOR**

## DEDICATORIA

A Dios por darme salud y permitirme continuar con mis metas.

*A mis padres, Yasmina y José, por su apoyo incondicional*

*A mis hermanos, Juan Luis y José Miguel, por sus consejos constantes y apoyo  
incondicional*

*A mis tías, Flor y Geno, por estar acompañándome a lo largo de mi vida.*

*A mis abuelos, Bertila y Paulino, por motivarme con sus experiencias a alcanzar  
más logros.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A los miembros del programa de becas CIENCIACTIVA CONCYTEC, Convenio de Gestión N° 183- 2015 FONDECYT por la subvención de estudios de Maestría en Nutrición de la UNALM.

A las autoridades del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) en el Proyecto 155-PI “Medición de metano entérico en bovinos lecheros alimentados con Rye Grass/Trébol y alfalfa en la EEA Santa Ana – Huancayo en época lluviosa” por el financiamiento.

Al equipo de la estación experimental “Santa Ana”, Integrado por: Ing. Magno, Ing. Osorio, Ing. Gamarra, Ing. Huilca, Ing. Tarrillo y la Srta. Rosana; por su apoyo en la etapa de acostumbramiento de los animales y experimental.

Al Ph.D Carlos Gómez Bravo asesor de la presente tesis por la confianza y orientación.

Al Ing. Gamarra por su confianza y orientación en lo que respecta pastos y forrajes de climas templados.

Al Ing. Víctor Alvarado por la capacitación en la técnica del trazador de SF<sub>6</sub> y su apoyo a lo largo de la tesis.

Al Ing. Jorge Salinas por su apoyo en el muestreo de pastos y forrajes en la etapa experimental.

A las autoridades del programa de la Maestría en nutrición por darme el apoyo y conocimientos para culminar el trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1.	CAMBIO CLIMÁTICO Y GANADERÍA.....	3
2.2.	EMISIÓN DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA .....	7
2.2.1	Factores para la producción de metano en los rumiantes .....	9
2.3.	MÉTODOS DE MEDICIÓN DE METANO ENTÉRICO.....	12
2.3.1.	Metodologías de la IPCC (2019).....	12
2.3.2.	Técnica de gas trazador SF <sub>6</sub> .....	15
2.4.	ESTUDIOS DE MEDICIÓN DE METANO ENTÉRICO EN GANADO LECHERO EN PASTOREO CON TÉCNICA DE GAS TRAZADOR SF <sub>6</sub> .....	17
III.	MATERIALES Y METODOS.....	22
3.1.	UBICACIÓN DEL ESTUDIO .....	22
3.2.	ANIMALES EXPERIMENTALES, ALIMENTACIÓN Y PRODUCCIÓN .....	22
3.2.1.	Manejo de la dieta.....	23
3.2.2.	Producción de las vacas en lactación.....	24
3.2.3.	Consumo voluntario .....	24
3.2.4.	Consumo de materia seca por IPCC (2019) .....	25
3.3.	TÉCNICA DE MEDICIÓN DIRECTA DE METANO ENTÉRICO .....	26
3.3.1.	Calibración de capsula de permeación .....	26
3.3.2.	Construcción del sistema de colección.....	27
3.3.3.	Muestreo y envío de gases espirados.....	28
3.4.	ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	31
3.4.1.	Análisis de biomasa del campo de pastoreo y dieta de los animales experimentales .....	31

3.4.2. Análisis químico de Leche y conversión a Leche corregida a energía (LCE) .....	31
3.4.3. Análisis de Materia Fecal .....	32
3.4.4. Análisis de gas colectado.....	35
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
4.1. VALOR NUTRICIONAL Y CONSUMO DE ALIMENTO .....	37
4.2. EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO DETERMINADO POR TÉCNICA DE GAS TRAZADOR SF <sub>6</sub> .....	40
V. CONCLUSIONES.....	47
VI. RECOMENDACIONES .....	48
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49
VIII. ANEXOS .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del forraje y dieta (base seca).....	38
Tabla 2. Digestibilidad de materia orgánica y consumo de vacas en lactación y seca.....	40
Tabla 3. Emisión de metano entérico por vacas en lactación y seca .....	44
Tabla 4. Emisión de metano entérico usando trazador SF <sub>6</sub> y metodología Tier II por estado fisiológico .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto invernadero y el Calentamiento global-----	4
Figura 2. Emisión de Metano de los Sectores Agropecuarios de los países de América Latina y el Caribe -----	6
Figura 3. Sectores emisores de GEI-----	7
Figura 4. Clasificación de Microorganismos del Rumen y características de las bacterias Productoras de metano “Metanogénicas”-----	9
Figura 5. Proceso Bioquímico de la generación de AGV y CH <sub>4</sub> -----	11
Figura 6. Pesaje de capsulas de permeación.-----	27
Figura 7. Cánister en forma de “U” y Línea de flujo.-----	28
Figura 8. Sistema de colección de gas expirado en los animales -----	29
Figura 9. Presión luego de sobre-presurizar con nitrógeno ultrapuro.-----	30
Figura 10. Procedimiento de digestión húmeda basado en Myers et al. (2004) -----	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Factores de emisión utilizados en el Tier I de la IPCC -----	65
Anexo II. Características de los animales experimentales.-----	66
Anexo III. Cronología de la etapa previa a la evaluación. -----	67
Anexo IV. Proceso diario de la etapa de evaluación.-----	68
Anexo V. Características de las capsulas de permeación seleccionadas. -----	69
Anexo VI. Materiales y Equipos para la implementación del sistema de colección.-----	70
Anexo VII. Energía Metabolizable y Consumo de materia seca mediante marcador $TiO_2$ .71	
Anexo VIII. Emisión de metano entérico diarios I.-----	72
Anexo IX. Emisión de metano entérico diarios II.-----	73
Anexo X. Composición florística del campo de pastoreo -----	74
Anexo XI. Emisión de metano por Tier II. -----	75
Anexo XII. Consumo de materia seca para vacas lactantes según la IPCC 2019. -----	75
Anexo XIII. Consumo de materia seca para vacas secas según la IPCC 2019.-----	76
Anexo XIV. Emisión de metano entérico haciendo uso de trazador $SF_6$ y metodología Tier II (Ym calculado) por estado Fisiológico. -----	76

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar las emisiones de metano entérico por vacas en lactación y en seca con alimentación a base de pastoreo rotativo en ryegrass / trébol con suplementación de forraje de avena y vicia en los andes del Perú. Se usó la metodología del gas trazador hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) para determinar emisión de metano entérico; el marcador externo dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) para determinar la producción de heces y se usó la proteína en heces para estimar digestibilidad del alimento. Las emisiones de metano entérico de 5 vacas en lactación (VL) y 6 vacas en seca (VS) raza Brown Swiss fueron de  $358.5 \pm 8.0$  y  $337.4 \pm 7.5$   $\text{gCH}_4/\text{vaca}/\text{día}$  para VL y VS, respectivamente ( $p > 0.05$ ). El factor de conversión de energía bruta a metano ( $Y_m$ ; %) fue de  $9.7 \pm 0.2$  para VL y  $9.6 \pm 0.1$  para VS. El rendimiento de metano entérico por kilogramo de consumo de materia orgánica fue de  $32.5 \pm 0.8$   $\text{gCH}_4/\text{vaca lactante}/\text{día}$  y  $32.2 \pm 0.8$   $\text{gCH}_4/\text{vaca seca}/\text{día}$  ( $p > 0.05$ ) y la emisión por kilogramo de peso vivo metabólico para vacas de lactación fue de  $3.1 \pm 0.2$   $\text{g CH}_4/\text{kg PV}^{0.75}$  y para vacas en seca de  $2.9 \text{ g} \pm 0.1 \text{ CH}_4/\text{kg PV}^{0.75}$  ( $P > 0.05$ ). Se concluyó que no hay diferencia en las emisiones de metano entérico por vacas lactantes y por vacas secas medidas con la técnica del gas trazador  $\text{SF}_6$ .

**Palabras clave:** metano entérico, pastoreo, hexafluoruro de azufre, dióxido de titanio, alto andina.

## ABSTRACT

The objective of the study was to determine the enteric methane emissions from lactating and dry cows fed on rotational grazing on ryegrass / clover with supplementation of oat and vetch forage in the Andes of Peru. Sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer gas methodology was used to determine enteric methane emission; the external marker titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) to determine the production of feces and the protein in feces was used to estimate the digestibility of the food. Enteric methane emissions from 5 lactating cows (VL) and 6 dry cows (VS) Brown Swiss were  $358.5 \pm 8.0$  and  $337.4 \pm 7.5$  gCH<sub>4</sub>/ cow / day for VL and VS, respectively ( $p > 0.05$ ). The conversion factor from gross energy to methane (Y<sub>m</sub> ;%) was  $9.7 \pm 0.2$  for VL and  $9.6 \pm 0.1$  for VS. The enteric methane yield per kilogram of organic matter intake was  $32.5 \pm 0.8$  gCH<sub>4</sub> / lactating cow / day and  $32.2 \pm 0.8$  gCH<sub>4</sub> / dry cow / day ( $p > 0.05$ ) and the emission per kilogram of metabolic live weight for lactating cows was  $3.1 \pm 0.2$  g CH<sub>4</sub> / kg PV<sup>0.75</sup> and for dry cows  $2.9 \pm 0.1$  CH<sub>4</sub> / kg PV<sup>0.75</sup> ( $p > 0.05$ ). It was concluded that there is no difference in enteric methane emissions from lactating cows and from dry cows measured with the SF<sub>6</sub> tracer gas technique.

**Keywords:** enteric methane, grazing, sulfur hexafluoride, titanium dioxide, high Andes.

## I. INTRODUCCIÓN

La ganadería se considera una fuente que genera impactos ambientales negativos, pero es imprescindible ante el incremento de la población mundial y la demanda de los productos del sector. Los impactos negativos abarcan la degradación de la vegetación y las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI). Dentro de las producciones ganaderas, el metano se presenta como el mayor gas emitido al medio ambiente, siendo el ganado vacuno de carne y de leche los mayores emisores.

Para conocer este volumen de emisión existen diversas metodologías para la medición de GEI emitida por el ganado vacuno. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) presenta distintas metodologías que pueden ser utilizadas dependiendo los recursos de cada país. En la ganadería, la metodología Tier I utiliza información general del número de animales del país y parámetros otorgados por la IPCC. La metodología Tier II requiere de la caracterización del ganado representativo del país, sistema de alimentación y características de la dieta. La metodología Tier III, se desarrolla a partir de las mediciones directas de campo a partir de las cuales se desarrollan modelos matemáticos siendo más precisa y completa. Teniendo en cuenta lo último, ciertos países han utilizado el método del gas trazador SF<sub>6</sub> como medición directa en condiciones de la zona y en muchos casos con sistema productivo extensivo con alimentación a base de pasturas cultivadas o nativas.

Al respecto, el Perú ha hecho uso de la metodología Tier I para obtener las emisiones totales del sector agropecuario y viene haciendo uso del método del gas trazador SF<sub>6</sub> en vacas de producción de leche en diferentes condiciones ambientales y alimentarias, centrándose en crear inventarios característicos de las zonas; faltando determinar posibles diferencias en las emisiones de metano entérico entre estados fisiológicos.

Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo general comparar las emisiones de metano entérico de vacas en lactación y en seca con alimentación al pastoreo de rye-grass/trébol suplementado con avena y vicia de la sierra peruana, teniendo como objetivos específicos medir las emisiones de metano entérico de los animales usando el gas trazador hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) y la metodología Tier II; asimismo, determinar el consumo de las vacas en lactación y seca usando el marcador externo dióxido de titanio y obtener el valor nutricional de la dieta ingerida por el animal.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. CAMBIO CLIMÁTICO Y GANADERÍA

El clima de la tierra se basa en el equilibrio radioactivo de la atmósfera, lo que quiere decir en el equilibrio de la cantidad de radiación solar que ingresa y de la concentración de gases que mantienen la radiación (calor) dentro del sistema terrestre llamados gases del efecto invernadero (GEI). Los GEI constituyen la capa inferior de la atmósfera manteniendo la temperatura promedio global en 15°C. El aumento en las concentraciones de los GEI genera el cambio climático que se exterioriza en el incremento de la temperatura terrestre global conocido como el calentamiento global (Ballester y Aristizabal 2007). Mundialmente, desde que se empezó a ser evidente el aumento de la temperatura global y su repercusión en el sistema ambiental y socioeconómico se dio creación al Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) que hace análisis del cambio climático y a La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) encargándose de realizar tratados ambientales (Rodríguez y Mance 2009). La IPCC, en su quinto informe de evaluación, señala que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sigue siendo el principal GEI emitido por la actividad humana y porque sus emisiones y concentraciones son más altas que las de otros gases que representan alrededor del 20 por ciento de GEI emitidos anualmente (Figura 1).

El CH<sub>4</sub> es el segundo GEI más importante representando el 16 por ciento de los GEI antropogénicos totales siendo el 60 por ciento del total de metano (CH<sub>4</sub>) en la atmósfera (CAIT 2016; Saunio *et al.* 2020). El CH<sub>4</sub> desde la era preindustrial se ha duplicado y su importancia radica en su permanencia en la atmósfera (9-15 años) y su potencial de calentamiento global, el cual es 23 veces mayor que el CO<sub>2</sub>. Las fuentes de CH<sub>4</sub> más importantes son: la producción y distribución de combustibles;

la explotación de carbón mineral y la descomposición de materia orgánica en sistemas biológicos (Ballesteros y Aristazabal 2007). En la descomposición de materia orgánica en sistemas biológicos se encuentran las actividades agropecuarias llegando a ser el 57 por ciento procedente de CH<sub>4</sub> antropogénico (Saunois *et al.* 2020; Jackson *et al.* 2020).

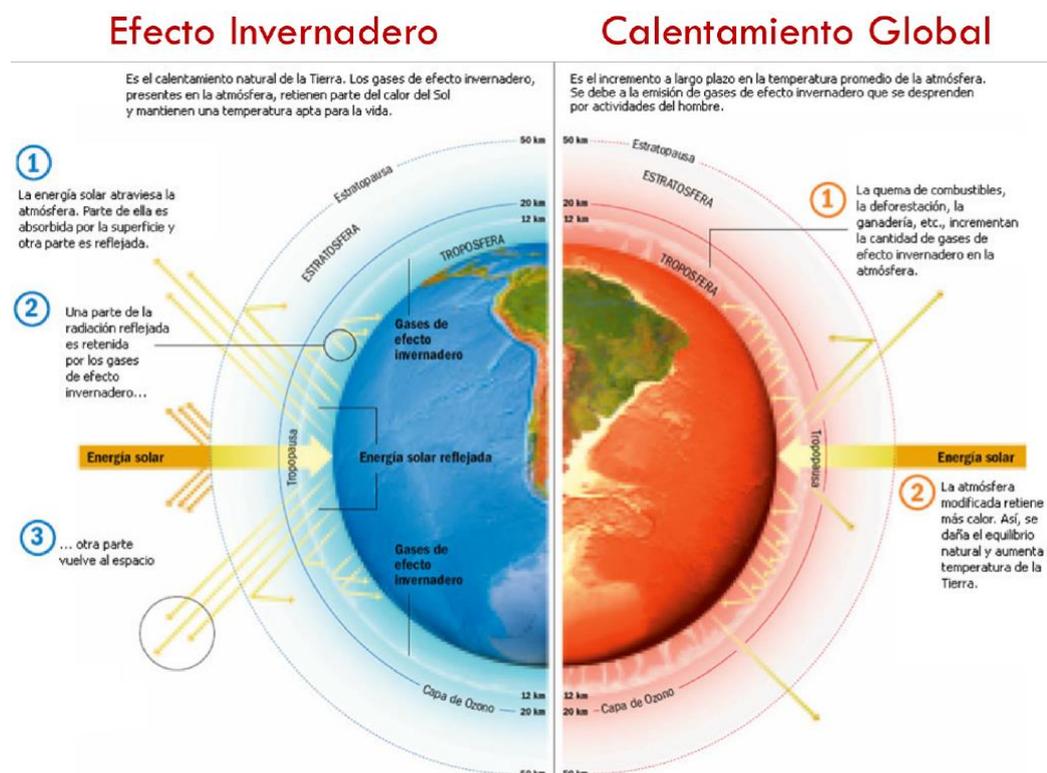


Figura 1. Efecto invernadero y el Calentamiento global

Fuente: Zuñiga (2016)

Las actividades agropecuarias son responsables del 10 al 12 por ciento de la emisión de GEI antropogénicos mundial (52 a 58 Gt de CO<sub>2</sub> eq/año para el año 2030). Las actividades pecuarias son actividades fundamentales para el sustento de la población que crece en un 95 por ciento en los países en desarrollo y a su vez hacen uso de recursos indispensables para el planeta como el agua, la tierra y la biodiversidad aportando al cambio climático (FAO 2016). El sector pecuario representa una fuente de emisión significativa en todo el mundo, generando CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O a lo largo de los procesos productivos. El sector pecuario aporta en la emisión de GEI de forma directa, en la fermentación entérica y manejo del estiércol, o indirecta, por las actividades para obtener los alimentos y la conversión de pastizales en zonas de

pastoreo. El ganado vacuno produce 5 Gt de CO<sub>2</sub> eq/año que representa el 62 por ciento del total de emisiones del sector pecuario. El ganado vacuno de carne aporta con 41 por ciento y el ganado vacuno de leche con el 21 por ciento del total de emisiones del sector (FAO 2017).

El metano es el mayor representante con el 50 por ciento de las emisiones del sector y el resto entre el CO<sub>2</sub> con 26 por ciento y el N<sub>2</sub>O con 24 por ciento. Dentro de la cadena de suministro de la ganadería; la gestión del estiércol, el consumo de energía y la alimentación animal abarcan un 10, 5 y 41 por ciento, respectivamente; donde los GEI generados sustancialmente son: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y en menor medida CH<sub>4</sub>. La fermentación entérica es la fuente más grande de la cadena contribuyendo con 44 por ciento donde en mayor cantidad se emite CH<sub>4</sub> (FAO 2017). La fermentación entérica que toma una gran importancia en estos animales es responsable del 1.1 Gt de CO<sub>2</sub> eq/año; representando para la cadena de carne vacuna el 43 por ciento y para la cadena de leche de vaca el 46 por ciento (Gerber *et al.* 2013; Morrison *et al.* 2017).

América latina y el caribe aportan con el 9 por ciento de emisiones GEI antropogénico total mundial, pero en el sector pecuario contribuye con 1.3 Gt dióxido de carbono- equivalentes por año, siendo el mayor emisor del sector (Gerber *et al.* 2013; Gutiérrez-Arce y Rojas-Vásquez 2016). Las producciones vacunas de carne y leche tienen una alta intensidad de emisión de GEI debido a la menor industrialización de los países y a una baja productividad relacionada con: una alimentación de baja digestibilidad, un indeseable manejo y eficiencia reproductiva. Países con menor industrialización y productividad, tienen como fuente primaria de emisión la fermentación entérica (Gerber *et al.* 2013; Benaouda *et al.* 2017). Los países de América latina y el caribe con mayores emisiones de metano dentro del sector agropecuario son Brasil, Argentina y México. Mundialmente dentro del sector agropecuario, Brasil y México ocupan el tercero y séptimo lugar de los países con más producción de metano (CAIT 2016).

El Perú contribuye con menos del 1 por ciento de GEI y el sector agropecuario del país aporta con el 3 por ciento de metano a nivel mundial (Figura 2). Al igual que

otros países, se comprometió a reducir en 30 por ciento sus emisiones de gases de efecto invernadero y es participante CMNUCC desde 1992.

Actualmente, existe la Política Nacional del Ambiente que abordan la reducción de gases de efecto invernadero y la adaptación al cambio climático (MINAM 2016). Asimismo, La Ley Marco sobre el cambio climático N°30754 se creó para enfrentar el cambio climático y tiene como objetivo establecer los principios, enfoques y disposiciones generales que formarán medidas de adaptación y mitigación al cambio climático (MINAM 2018).

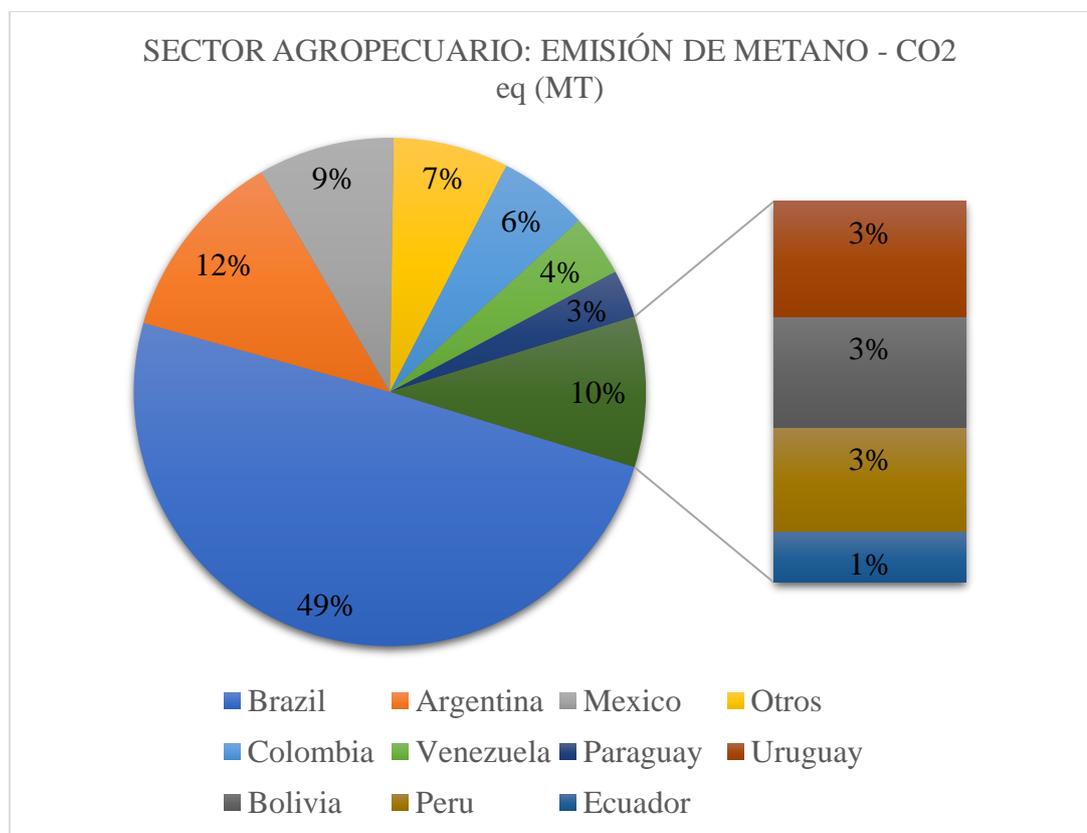


Figura 2. Emisión de Metano de los Sectores Agropecuarios de los países de América Latina y el Caribe

Fuente: CAIT (2016)

El Perú ha generado cálculos de emisiones de metano y otros gases del efecto invernadero en sectores, las cuales son: Agricultura, Silvicultura y Otros usos de la tierra; Energía; Procesos industriales y uso de productos; y desechos. En el Inventario Nacional de GEI (INGEI) del 2016, el total de emisiones de GEI fue de 205 294,17

Gg de CO<sub>2</sub> equivalentes. El detalle de los sectores y las emisiones de GEI se detalla en la Figura 3 (MINAM 2021).

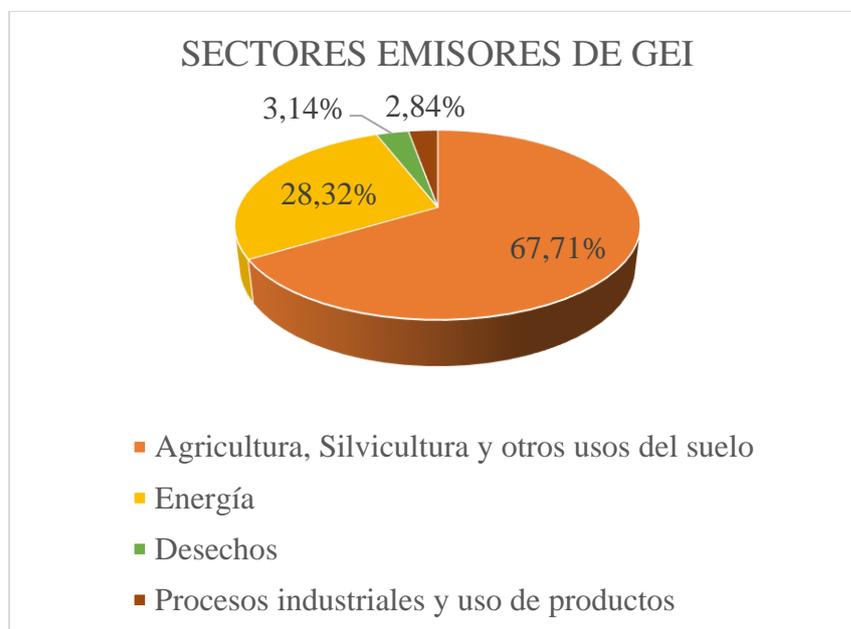


Figura 3. Sectores emisores de GEI

Fuente: MINAM (2021)

El subsector Agricultura o Agropecuario, representa el 12.62 por ciento del total del total de emisiones a nivel nacional; dentro del subsector se encuentran ocho subcategorías y dentro de estas subcategorías; la principal subcategoría es la fermentación entérica representando un 44.24 por ciento del total del subsector (MINAM 2021).

## 2.2. EMISIÓN DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA

El rumiante promedio produce entre 250 a 500 litros de metano al día; a nivel mundial la ganadería es responsable de 3.1 Gt de CO<sub>2</sub> eq/año de metano (Johnson y Johnson 1995; Gerber *et al.* 2013). El metano a través de la fermentación entérica es la fuente de GEI más importante en la producción de rumiantes representa entre el 50 al 60

por ciento de la actividad (Martin *et al.* 2010). El ganado vacuno es el mayor representante con 77 por ciento, seguido por los búfalos con 13 por ciento y los pequeños rumiantes con 10 por ciento de las emisiones de metano del sector pecuario mundial (Gerber *et al.* 2013). Por lo que, la fermentación entérica puede llegar a representar entre el 12 al 37 por ciento de las emisiones de metano del sector, dependiendo la tecnificación y características de la producción (Lassey 2008; Martin *et al.* 2010).

Los rumiantes poseen un sistema digestivo de gran tamaño y están asociados con microorganismos que favorecen el mejor aprovechamiento del alimento. El estómago cuenta con divisiones llamadas compartimentos por donde pasa el alimento antes de llegar al intestino (Shimada 2015). Los animales seleccionan los alimentos luego lo trituran en la cavidad oral y lo ingieren. Estos alimentos llegan al rumen- retículo donde se da el proceso de fermentación microbiana de los polímeros. La mayor fermentación del alimento sucede en el rumen, donde las contracciones ruminales mezclan la biomasa microbiana con el alimento para que entren en contacto y se liberen enzimas bacterianas que dan lugar a macromoléculas hacia el líquido ruminal. Los carbohidratos en el líquido ruminal son transformados en productos como: los ácidos grasos volátiles (AGV), proteína microbiana y gases ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ) (Johnson y Johnson 1995; Angeles 2014). Los gases son expulsados por los orificios de los animales siendo el metano expulsado en un 98% a través de la boca y los orificios nasales (Carmona *et al.* 2005). La emisión de metano entérico es parte de un proceso fisiológico normal donde en la fermentación de la fibra se pierde un carbono en forma de metano; el cual, en términos nutricionales, se produce por la ineficiencia en la utilización de la energía del alimento (Murray *et al.* 1978; Broucek 2014).

La clasificación de los microorganismos del rumen y las características de las bacterias “Metanogénicas” se muestran en la Figura 4.

## Microorganismos simbióticos

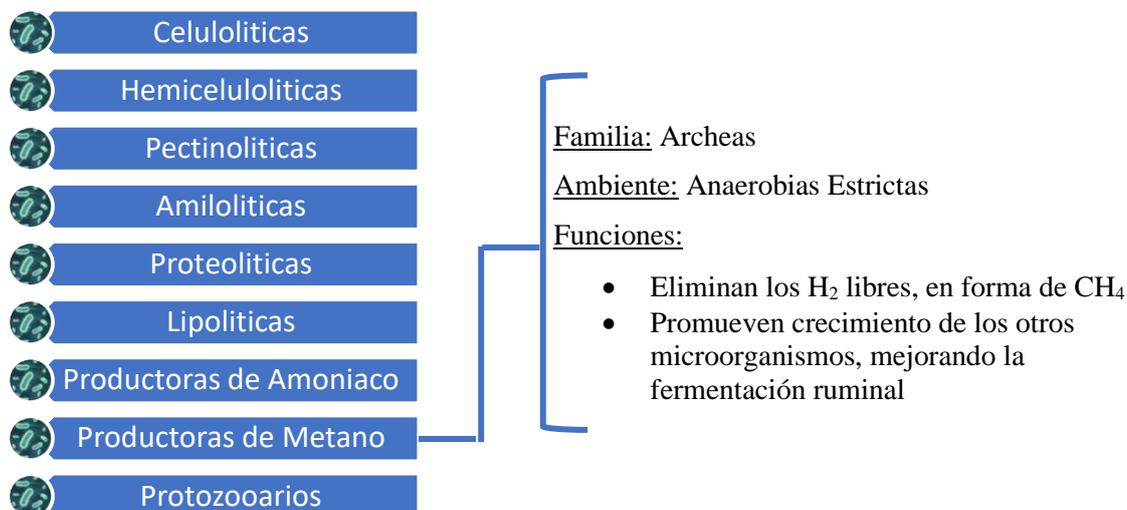


Figura 4. Clasificación de Microorganismos del Rumen y características de las bacterias Productoras de metano “Metanogénicas”

Fuente: Shimada (2015)

### 2.2.1 Factores para la producción de metano en los rumiantes

La menor o mayor cantidad de metano de una producción ganadera está en función de la interacción entre la dieta, el rumen y el animal. La dieta puede variar en cantidad, calidad, digestibilidad, ratio fibra: concentrado y de la estrategia de alimentación del establo. La capacidad fermentativa del rumen depende de la proporción de especies de microorganismos y el ambiente ruminal que es variable en el tiempo y modifica a la microbionta ruminal (Martin *et al.* 2017). El rumiante que dependerá la especie, la raza, el peso corporal, la capacidad productiva y el ambiente emitirá mayor o menor metano. Las emisiones de metano son muy variables entre cada animal dentro de cada especie y más aún entre diferentes razas. Sin embargo, los factores más determinantes son la cantidad y calidad de la dieta ingerida por los animales (Blaxter y Clapperton 1965; Jonker *et al.* 2017) y estos determinan en mayor medida el nivel de consumo voluntario debido a que una predicción precisa del consumo radica en las particularidades de los alimentos y/o la capacidad del tracto digestivo del animal (Forbes 1986).

### **Cantidad de consumo de dieta**

La cantidad de consumo depende de la especie, raza, peso corporal, tasa de crecimiento, la capacidad productiva, genética, temperatura ambiental y la capacidad del sistema digestivo del rumiante (Johnson y Johnson 1995). Este último, determinada por: la capacidad de remoción de las partículas pequeñas, la tasa constante de fermentación, la tasa de reducción de partículas largas y en el volumen del rumen.

La producción de metano está ligado a la digestión del animal y está relacionada con la velocidad de pase del alimento por el tracto digestivo y la posibilidad que los microorganismos ejerzan su acción sobre el alimento. En el animal existen dos mecanismos por los que se refleja la digestión del animal: la cantidad de alimento que consume y la cantidad de H<sub>2</sub> que se genera en el rumen. Los cuales dependen de los mecanismos fisiológicos del animal y fisicoquímico de la dieta.

### **Calidad de la dieta**

La calidad de dieta se mide de: la solubilidad, la fracción insoluble pero fermentable, la concentración proteica y energética de la ración de alimento, y el consumo alto en fibra que dependen del sistema de producción (Preston *et al.* 1987; Bonilla *et al.* 2012). Por lo tanto, las características nutricionales de una dieta (nivel de energía, proteína, fibra detergente neutra, minerales y vitaminas), cantidad de agua, palatabilidad y forma física del alimento determinarán también el consumo de una dieta que luego generará hidrogeniones (H<sub>2</sub>) en el rumen. Los H<sub>2</sub> son intermediarios reduciendo u oxidando al NADH para la obtención de ácido grasos volátiles (AGV) y CH<sub>4</sub>. El Ácido Acético genera H<sub>2</sub> y el Ácido Propiónico utiliza H<sub>2</sub>. La proporción de AGV finales dependerá de los CHO fermentados de la dieta y factores propios del ambiente ruminal y microorganismos. Entonces se puede decir que la calidad de la dieta (proporción forraje: concentrado) que consuman los animales generará variación en el ratio acético: propiónico y por consiguiente la emisión de CH<sub>4</sub> (Johnson y Johnson 1995).

El proceso bioquímico de la producción de AGV y gases se muestra en la Figura 5.

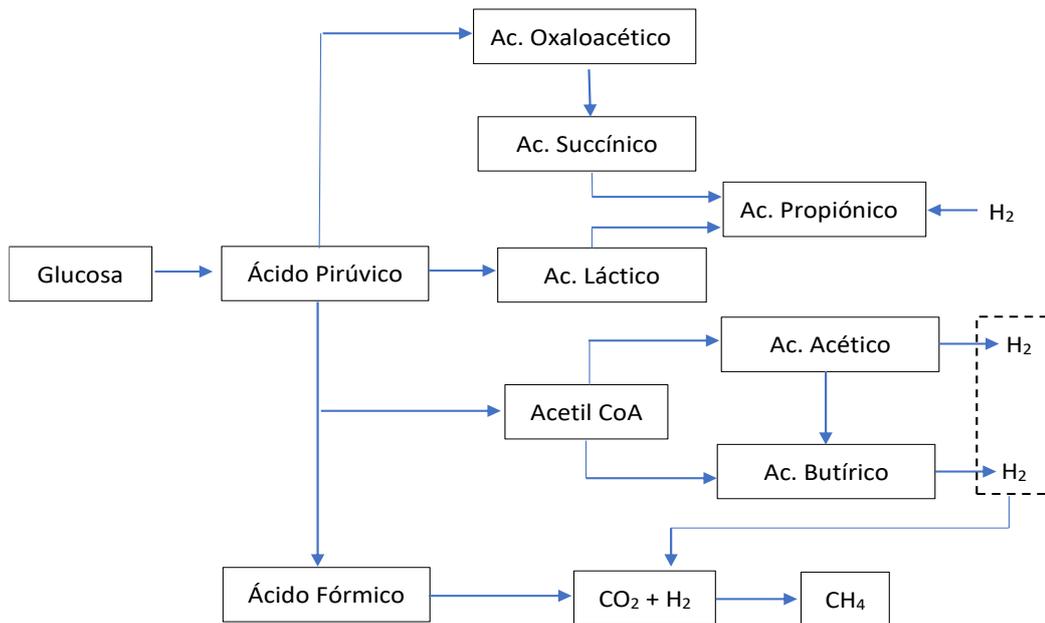


Figura 5. Proceso Bioquímico de la generación de AGV y CH<sub>4</sub>

Fuente: Wolin (1981)

Las características genéticas que posee el animal, entre ellas, la mayor fermentación de la fibra no digerible y la cantidad de bacterias metanogénicas en el rumen, están relacionadas en la generación de AGV y la utilización de la dieta para generar energía. Los animales con una mayor exigencia energética como los animales en etapa de crecimiento o animales en lactación aumentan su consumo debido a su requerimiento energético y con éste, la generación de AGV y mayor producción de metano. Las condiciones ambientales determinan las especies de forrajes o pasturas que sirven de alimento a los animales al pastoreo siendo en temporada seca menos disponible y/o de menor calidad. El nivel de producción que está relacionado a la exigencia energética, a la genética del animal y a la dieta, depende en mayor medida del sistema de alimentación. Un sistema de alimentación con base forrajera depende de la fibra que se le otorga para obtener mayor o menor emisión de metano. Animales con sistema de alimentación en base a concentrado tienen menor emisión de metano en comparación al sistema de alimentación con base a forrajes (Broucek 2014).

## 2.3. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE METANO ENTÉRICO

Los métodos de medición de metano entérico se han desarrollado para saber la situación actual de las emisiones en diferentes manejos productivos de ganado en distintas condiciones ambientales y para tener una base en la aplicación de estrategias de mitigación. Las metodologías, para mostrar adecuados resultados en la medición de la producción de metano por rumiantes, pueden ser estimaciones indirectas o directas. Siendo algunas mejores dependiendo el nivel que se quiera evaluar: *in vitro*, animal, manada, granja o nivel nacional (Storm *et al.* 2012; Goopy *et al.* 2016).

Las estimaciones directas abarcan metodologías que se efectúan al animal directamente que pueden ser: Cámaras de respiración, Técnica de gas trazado por hexafluoruro de azufre, The GreenFeed System, entre otros. Las estimaciones indirectas son *invitro*, detector laser de CH<sub>4</sub>, estimación a través de la dieta, metodologías de la IPCC, entre otros (Hristov *et al.* 2018). Las estimaciones indirectas y directas mencionadas son las más usadas en investigaciones de campo y tienen mayor validación que otras técnicas nuevas (Goopy *et al.* 2016). Asimismo, existen ecuaciones predictivas (medición indirecta) que suelen salir de investigaciones previas usando alguno de los métodos ya mencionados (Methol 2005).

### 2.3.1. Metodologías de la IPCC (2019)

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) generó guías para la medición de las emisiones de GEI para los países que participan en la Convención Marco sobre el Cambio Climático. Las metodologías Tier o Nivel son estimaciones indirectas de GEI que utilizan datos del país para obtener las emisiones. Estos van del Tier I al III, siendo el Tier I menos preciso y el Tier III más preciso. En la ganadería, para hacer una elección del método se necesita información del país como por ejemplo para evaluar la emisión de metano entérico: existencia de implementación de métodos directos de medición, disponibilidad de caracterización específica de la ganadería, la importancia de la fermentación entérica en el país e

importancia de la especie para esa emisión y/o la existencia de datos poblacionales por sistema de producción.

### **Método para Tier I**

Es una caracterización básica para la población del ganado del país y se considera la especie del ganado y la población anual. En países con una caracterización avanzada se considera el sistema de producción. La guía de la IPCC cuenta con el factor de emisión obtenido de diferentes regiones, especies y sistemas de producción (Anexo D)

Fórmula para Tier I:

$$E_T = FE_{(T,P)} \times (N_{(T,P)} / 10^6)$$

Donde:

$E_T$  (GgCH<sub>4</sub>/año) = Emisión de metano por fermentación entérica en la especie animal.

$FE_{(T,P)}$  (kg CH<sub>4</sub>/animal/año) = Factor de emisión para la población objetivo.

$N_{(T,P)}$  = Numero de animales (T: especie, P: sistema productivo)

### **Método para Tier II**

La metodología Tier II se aplica con una mejor caracterización de la población ganadera y genera un propio factor de emisión (FE). Para el Tier II es necesario: definición de subcategorías; estimación de la población anual de la subcategoría; estimación del consumo de un animal típico de la categoría y el factor de conversión de metano (IPCC 2019). El Tier II tiene una definición de subcategoría más homogénea y detallada. Por ejemplo: vacas lactantes; vacas en seca; recria, entre otros; siendo de una misma raza, sexo, rango de edad y zona del país o región; en este último, su importancia radica en las diferencias climáticas, sistemas de alimentación, dieta y manejo. Teniendo todo esto en cuenta, se puede reflejar toda la población anual de esa subcategoría. La estimación del consumo debe ser lo más

preciso posible, utilizando datos como: el peso (kg); ganancia de peso por día (kg); situación alimentaria; producción promedio de leche diaria (kg/d); el contenido de grasa y proteína, horas de trabajo promedio por día (hr/d), porcentaje de hembras paridas al año, crecimiento de lana, número de crías, digestibilidad del alimento (expresado como el porcentaje de energía bruta que es energía digestible), porcentaje de proteína cruda en el alimento y porcentaje de fibra detergente neutra (FDN) u otro análisis de fibra a partir de la materia seca consumida por el animal. Todo ello, para obtener el consumo de alimento a partir de la energía bruta requerida por día (MJ/d) por el animal (IPCC 2019). El factor de conversión de metano es la energía del alimento que se convierte en metano expresado en porcentaje; los valores se describen en la IPCC (2019), los cuales están basados en distintas investigaciones con diferentes interacciones de alimentos y factores del animal.

Fórmula para el Tier II para hallar el Factor de emisión:

$$FE = \frac{GE \times (Y_m / 100) \times 365}{55.65}$$

Donde:

FE (kg CH<sub>4</sub>/animal/año) = Factor de emisión para la población objetivo.

GE (MJ/animal/día) = Consumo de Energía bruta.

Y<sub>m</sub> (%) = Factor de conversión de metano

El factor 55.65 (MJ/kgCH<sub>4</sub>) es la energía contenida en una molécula de metano y el número 365 son los días del año; este último puede cambiar dependiendo el periodo de la recolección de datos.

Existe un Tier II modificado, el cual se fundamenta en que se podría obtener el consumo propio de los animales experimentales y/o un propio Y<sub>m</sub>. El consumo puede ser estimado mediante técnicas sobre los animales (directas) y sobre la pastura (indirectas); cabe señalar que tanto la Tier I y II basan su consumo en la ingesta de energía bruta del animal siendo una técnica directa pero global para el ganado en evaluación. El Y<sub>m</sub> puede ser obtenido con métodos directos de medición de metano entérico reemplazando el metano entérico hallado en la fórmula de la Tier II.

## **Método para Tier III**

El Tier III tiene relación con la digestibilidad y contenido de nutrientes de la alimentación, teniendo en cuenta, la producción de acetato, butirato, propionato y ácidos grasos que alteran el ambiente ruminal y la capacidad de generación de hidrógenos afectando directamente el Ym. El Tier III se basa en modelos mecanísticos producto de investigaciones dentro de un mismo país con producciones con características similares. Es adecuado para los países generar su propio factor de emisión de metano considerando su ganado y las características de su alimentación. La IPCC recomienda a los países con población de ganado con alimentación de baja calidad generar su propio Ym asimismo estimar lo mejor posible la ingesta y características de la alimentación de los animales para validar el Ym contra las recomendadas por la IPCC. Niu *et al.* (2018) recomiendan realizar modelos regionales que sean extraídos de experimentos de la misma localidad; los cuales se realizan mediante métodos de medición de metano entérico.

### **2.3.2. Técnica de gas trazador SF<sub>6</sub>**

El uso del gas hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) como marcador de metano fue desarrollada por (Johnson *et al.* 1994), se fundamenta en que la dispersión de gases emitidos del rumen es homogénea en el medio del animal (cavidad oral) dando una igualitaria oportunidad de recolección por parte del sistema de colección. Asimismo, la tasa de liberación del CH<sub>4</sub> será obtenido por la tasa de liberación de SF<sub>6</sub> conocida y la concentración de los gases en el muestreo de los animales y ambientales (Carmona *et al.* 2005 y Berndt *et al.* 2014). La metodología consta de varios pasos basados en Berndt *et al.* (2014):

**Calibración de capsulas de permeación:** Las capsulas de SF<sub>6</sub> liberan el gas a una tasa constante todos los días, disminuyendo el contenido en el tiempo. La tasa de permeación es lo que se debe hallar por el investigador antes del inicio del estudio. El pesado diario, exacto y respetando la misma hora es la manera de obtener la tasa de permeación la cual se obtiene en la regresión lineal de masa por tiempo. Si bien

lo ideal es pesar todos los días, lo práctico es pesar de uno a tres veces por semana. Luego de obtener el pesaje se realiza una ecuación lineal donde se debe obtener un  $R^2$  mayor o igual que 0.99; siendo, la pendiente de la ecuación la que corresponde a la tasa de liberación del SF<sub>6</sub>.

**Implementación del sistema de colección de gas en los animales y en el medio ambiente:** Se basa en la construcción de un sistema de colección, el cual puede tener diferentes formas y volúmenes. El cierre del sistema debe ser hermético para obtener vacío. El llenado debe estar cerca al 40% de su capacidad. Por todo lo señalado, el sistema consta de:

- a. Cánister: Recipiente donde se creará presión negativa o vacío para que mediante una línea de flujo pase el aire emitido por los animales.
- b. Línea de flujo: En su interior consta de un capilar para controlar el flujo de aire que va a pasar del exterior al cánister. La calibración del capilar depende de la zona en donde se realiza la investigación teniendo en cuenta la presión atmosférica diferencial.

Los equipos y materiales con los que el sistema va a trabajar en conjunto deben ser adaptados. Luego de tener los sistemas de colección y equipos listos se debe realizar pruebas de 24hr a 48 hr. para evaluar el llenado de los sistemas. En algunos experimentos que no se cuenta con suficientes materiales o sistemas de colección se opta por hacer un submuestreo donde utilizan viales cerrados herméticamente para eyectar el gas colectado en los sistemas.

**Manejo de los animales para la colección:** los animales experimentales seleccionados para esta técnica deben tener características similares y no ser agresivos para luego acostumbrarse a los sistemas de colección, a la dieta experimental y/u otra metodología para hallar consumo o digestibilidad.

**Muestreo del alimento y producción para obtener el rendimiento de emisión e intensidad de emisión:** La emisión de metano entérico depende principalmente del consumo (kg) y calidad de alimento. Estando la emisión de metano ligado a la cantidad de consumo podemos expresar estas emisiones por kg MS ingerida, obteniéndose el rendimiento. En una producción al expresar la cantidad de emisión de metano por producto puede justificar tales emisiones, obteniéndose la intensidad de emisión. Dado ello, en el ganado de leche se tienen en cuenta la colección del alimento y medición de litros de leche para su posterior uso. La evaluación de la calidad de alimento nos da la cantidad de fibra que tiene la dieta, pudiendo también ser una forma de expresión de la emisión de metano.

**Análisis mediante cromatografía de gases de las muestras de CH<sub>4</sub> y SF<sub>6</sub>:** El análisis por cromatografía es de elección para la técnica de trazado por SF<sub>6</sub> donde se realizan las lecturas de la concentración de los gases colectados. Existen otros análisis como: los analizadores de gases infrarrojos con detección fotoacústica; la espectroscopía infrarroja transformada de Fourier; la espectroscopia de absorción láser con diodos sintonizables y los semiconductores sensores de chip (Storm *et al.* 2012; Marin 2013). Luego de tener la concentración de CH<sub>4</sub> y SF<sub>6</sub>, se calcula el metano emitido en g d<sup>-1</sup>.

#### **2.4. ESTUDIOS DE MEDICIÓN DE METANO ENTÉRICO EN GANADO LECHERO EN PASTOREO CON TÉCNICA DE GAS TRAZADOR SF<sub>6</sub>**

Los estudios realizados en medir las emisiones de metano entérico en el ganado lechero en pastoreo se han centrado en su mayoría en vacas de lactación con diferentes forrajes con o sin suplementación de concentrado. Las emisiones de metano se han expresado por día (metano emitido total), por kilogramo de materia seca consumida (rendimiento de emisión de metano) y por kilogramo de leche o leche corregida a energía (intensidad de emisión de metano). Pinares-Patiño *et al.* (2003a) midieron las emisiones de metano en vacas charoláis al pastoreo de Timothy (*Phleum*

*pratense* L.) en cuatro estados de maduración a 1250 msnm en Francia. En el cual encontraron variación entre los animales y entre los días en las emisiones de metano para cada estado de maduración obteniendo mayor variación entre animales y días en el estado de senescencia (228.4 g CH<sub>4</sub>/vaca/día).

Lee *et al.* (2004) midieron emisiones de metano entérico en vacas Holstein –Friesian alimentadas ad libitum de ryegrass con niveles de trébol blanco en Nueva Zelanda. Encontraron que al aumento de trébol blanco decrece la emisión de metano por kilogramo de materia seca consumida y el Ym. Sin embargo, aumenta el total de metano por vaca al día. Obtuvieron en promedio 364.6 g CH<sub>4</sub>/vaca/día con 15% de trébol blanco. Igualmente, Primavesi *et al.* (2004) realizaron un estudio en vacas mestizas brasileras y vacas holandesas en tres estados fisiológicos (vacas en lactación, vacas secas y novillas) donde midieron las emisiones de metano en condiciones del trópico donde encontraron emisiones entre 198 – 403 g CH<sub>4</sub>/vaca/día; las emisiones más bajas fueron de las novillas y las más altas de las vacas en lactación. Concluyeron que las emisiones de metano son mayores con forrajes de trópico que con forrajes de climas templados y que los animales de raza cebuina emiten más que los de raza europea.

Lovett *et al.* (2005) estudiaron la emisión de metano con el aumento de concentrado en vacas en lactación tardía en pastoreo en Nueva Zelanda; obtuvieron emisiones 346 y 399 g CH<sub>4</sub>/vaca/día, aumentando la emisión total de metano con el aumento de concentrado, pero la emisión por kilogramo de materia seca consumida y la intensidad de metano se reducían con el aumento de concentrado. Indistintamente, Grainger *et al.* (2007) realizaron mediciones de metano en vacas Holstein –Friesian con SF<sub>6</sub> y cámara de respiración de circuito abierto; donde obtuvieron mediciones similares de emisión de metano entérico (322 y 331 CH<sub>4</sub>/vaca/día).

Dini *et al.* (2012) en vacas lactantes pastoreando campos ricos en leguminosas o gramíneas midieron las emisiones de metano y la producción de leche en Uruguay. En donde no hubo diferencia entre las emisiones de metano en los animales (372 g CH<sub>4</sub>/vaca/día). En Chile, Muñoz *et al.* (2016) midieron las emisiones de metano

entérico en pasturas con diferente rebrote ocasionando una baja y alta densidad ambas con diferente composición química. Se concluyó que la pastura con baja densidad tenía baja cantidad de FDN y mejor digestibilidad que la de alta densidad. Por ello el de mejor calidad tenía mayor consumo por los animales y mejor producción de leche y menor pérdida de energía por metano por kilogramo de energía bruta consumida. Pero no hubo diferencia en emisión de metano total (323 CH<sub>4</sub>/vaca/día). Por ello, un manejo adecuado de las pasturas puede mitigar las emisiones de metano entérico por kilogramo de producto. Posteriormente, Muñoz *et al.* (2018) evaluaron el efecto de concentrado en las emisiones de metano de vacas en la lactación tardía al pastoreo, encontrando que a mayor cantidad de concentrado incrementa la emisión de la cantidad total de metano entérico día, pero disminuye el rendimiento de emisión de metano (gCH<sub>4</sub>/CMS) pero no tiene efecto en la intensidad de metano (gCH<sub>4</sub>/kg leche).

Van Wyngaard *et al.* (2018) compararon el efecto de los niveles de concentrado en dietas a base de pasturas dominadas con kikuyo en vacas Jersey, encontrando que aumenta la emisión total de metano entérico día, pero disminuye el rendimiento e intensidad de metano. Un estudio por Montenegro-Ballesteros *et al.* (2019) en donde cuantificaron las emisiones de metano entérico según los estadios fisiológicos en vacas de alta producción, concluyeron que conforme aumenta el consumo de materia seca aumenta la cantidad de emisión de metano entérico día (330-390 g CH<sub>4</sub>/vaca/día) pero se reduce el rendimiento de metano. Asimismo, la intensidad de emisión mejora durante la lactación temprana reduciéndose con el tiempo.

Recientemente, Moate *et al.* (2020) midieron emisión de metano en vacas en pasturas de ryegrass con diferente porcentaje de trigo, obteniendo que con un 30% a más de trigo decrece la concentración de grasa en leche, pero reduce las emisiones de metano, rendimiento de metano e intensidad de metano. Evaluando, Ferris *et al.* (2020), la raza (genotipo) y nivel de concentrado en cantidad de la emisión de metano entérico; concluyeron que no hay una diferencia más el rendimiento de metano entérico en la raza meztiza (Jersey + Holstein-Friesian) fue mayor que la raza pura (Holstein-Friesian) pudiendo deberse a la diferencia en el tamaño del rumen,

comportamiento de pastoreo o la diferencia en la microflora entre genotipos. Investigaciones enfocadas en la mejora de los sistemas de pastoreo son las que actualmente se están realizando como Loza *et al.* (2021) que midieron la emisión de metano en vacas lecheras raza Jersey con pasturas ryegrass-trébol y con pasturas con multiespecies, donde encontraron que el campo con multiespecies generó 11% más metano por kilogramo de leche corregida a energía (4%) que la asociación. Las emisiones de metano fueron 203-277 CH<sub>4</sub>/vaca/día.

En el Perú, las producciones ganaderas de leche extensivas y semi intensivas son pertenecientes a pequeños productores (85.9 por ciento de unidades agropecuarias), los cuales se caracterizan por tener menos de 10 cabezas de ganado, pero aportan con el 40 por ciento de producción de leche (MINAGRI 2017). Las tres cuencas más importantes son: Sur, Norte y Centro; donde Junín aporta con el 2,5 por ciento de la cuenta del centro. La ganadería lechera de Junín se desarrolla en el valle del Mantaro donde los pequeños productores priman en un 59 por ciento seguidos por productores medianos (31%) y finalmente grandes productores (10%) (MINAGRI 2017). Cabe señalar que en promedio un productor ganadero en Junín tiene 4 vacas en producción de nueve; las cuales producen 9.6 L/vaca/día con un total de aproximadamente 35 L/día (Gamboa y Mercado 2015). Un estudio realizado por Arauco (2015) en el valle de Mantaro encontró que el 73 por ciento de los hatos suministran alimentación complementaria o suplementaria; de manera ocasional dependiendo de su disponibilidad y asequibilidad y que el 27 por ciento de los productores entrevistados alimentaban a sus vacas de producción netamente en pastoreo. Estas características más el clima, el tipo de forraje y sistema de manejo hacen a las producciones ganaderas de la sierra distintas reflejándose en los animales y su aporte de GEI; haciendo necesario la determinación directa de emisiones que estableciera un punto de partida para una adecuada estrategia de mitigación para estos tipos de sistemas ganaderos propios del país.

Por ello, en el país existen dos investigaciones relevantes sobre la producción de las emisiones de metano entérico por vacas con alimentación tradicional de la sierra peruana. Moscoso *et al.* (2017), haciendo uso del gas trazador SF<sub>6</sub> en vacunos a

pastoreo determinó la producción de metano con tres diferentes dietas a base de pastos naturales de *Festuca dolichophylla* – *Muhlenbergia fastigiata* a 4 200 msnm durante la época seca. En la cual, el uso de taninos redujo significativamente las emisiones de metano y Alvarado-Bolovich *et al.* (2021), utilizando la misma técnica determinaron las emisiones de metano de vacunos en lactación con alimentación a base de pastos cultivados y pastos nativos en estación lluviosa y seca en zona altoandina y se concluyó que las vacas multíparas en lactación pastoreando alfalfa y avena tienen significativamente menor emisión de metano por kilogramo de leche corregida a energía que vacas primíparas en lactación pastoreando pasturas naturales en zona altoandina. Mas hacen necesario mayor cantidad de mediciones en la determinación de emisiones de metano entérico en todas las etapas de producción de la ganadería lechera.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO**

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agraria Santa Ana del Instituto Nacional de Innovación Agraria ubicada en el distrito El Tambo, provincia de Huancayo, departamento de Junín a 3,260 msnm.

La duración del estudio fue de 4 meses (Enero –Abril) cuando la temperatura varió entre 6 -18°C y la precipitación mensual fue de 35 a 102 mm, mensualmente. Los días de muestreo del gas espirado, la temperatura varió entre 10.1 - 14.3°C y el porcentaje de humedad fue entre 57.2 - 77%.

#### **3.2. ANIMALES EXPERIMENTALES, ALIMENTACIÓN Y PRODUCCIÓN**

Los animales seleccionados fueron 11 vacas multíparas Brown Swiss: 5 vacas en lactación con 530 kg (24.4 EE) de peso vivo, de las cuales 3 estaban en lactancia media (100-200 días posparto) y 2 en lactación tardía (200 a más días posparto) y de estas últimas, una estaba preñada, y 6 vacas en seca con 571 kg (12.0 EE) de peso vivo las cuales recibieron el mismo manejo en un sistema de pastoreo rotativo (32 potreros) de 1-2 días de pastoreo con 30 a 32 días de descanso de Rye grass inglés (*Lolium perenne* L.) – Trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y con suministro limitado de Avena (*Avena sativa* L.) y Vicia (*Vicia sativa* L.) en corral. Las características de los animales se detallan en el Anexo II.

### **3.2.1. Manejo de la dieta**

Se realizó el método de transacción lineal permanente (Parker 1951) para detallar la composición florística del campo de pastoreo identificándose las especies en el Herbario “A.Weberbauer” de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Se evaluó la disponibilidad de biomasa del área de pastoreo en los días 1, 7 y 9 del periodo experimental con el método de corte donde se lanzó un cuadrante de 1 m<sup>2</sup> por 5 veces al azar al potrero antes de la entrada de los animales, procediendo a cortar, colocarlas en bolsas de plástico y pesarlas; para luego, pre-secarlas al medio ambiente y almacenarlas en bolsas de papel.

La muestra representativa de la dieta de los animales se realizó mediante la técnica de simulación manual en el área de pastoreo y se muestreó el suplemento de avena y vicia en el establo. Se procedió a realizar la simulación manual a las 10:00 h en el área de pastoreo durante los días 1, 7 y 9 del periodo experimental de acuerdo con lo propuesto por Langlands (1974). Para ello, se seleccionaron 3 vacas en lactación y 3 vacas en seca; al inicio del pastoreo, se visualizó lo que ingirió el animal (hojas, tallo, especie) y las mordidas realizadas en la estación alimentaria, para luego proceder a recoger la cantidad de veces como mordidas realizadas por el animal y lo visualizado de un área continúa. Se realizó este procedimiento por 25 estaciones alimentarias. Definiéndose como estación alimentaria al semicírculo frente al animal de donde cosecha el forraje cada vez que se detiene a comer (Flores 1983). Luego de la simulación manual de la dieta de cada animal las muestras se pesaron, pre-secaron al medio ambiente y se almacenaron en bolsas de papel. La avena asociada con vicia se suministró a las vacas en lactación y a las vacas en seca en los corrales separados por guillotinas por la mañana y la tarde; se suministró 20 kg por vez, haciendo un total de 40 kg diarios de avena y vicia (entero), el muestreo se realizó antes de dar el forraje. Asimismo, se pesó el resto del forraje que dejaron los animales, esta actividad se efectuó los días 1,7 y 9 del periodo experimental.

Todas las muestras se remitieron al Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) del departamento de Nutrición de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

### **3.2.2. Producción de las vacas en lactación**

A los animales en producción se les ordeñó dos veces al día, por lo que se muestreó en cada ordeño 50 ml de leche y para su preservación se colocó 2 gotas de formol al 40 por ciento y se llevó a refrigeración a 4°C; al término del día se mezcló y se volvió refrigerar a 4°C. Se realizó dos envíos de muestra de leche; en cada uno se mezcló 7 días de muestreo por vaca y se obtuvo una muestra completa por animal. Todo se remitió al Laboratorio de leche, derivados y carnes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

### **3.2.3. Consumo voluntario**

Se utilizó el marcador externo TiO<sub>2</sub> para estimar la excreción de heces. Se dosificó a los animales con 5 g de TiO<sub>2</sub> a las 6:00 h y 18:00 h, antes de suplementar con avena y vicia haciendo un total de 10 g de TiO<sub>2</sub> al día. La adaptación de los animales al marcador fue de 7 días antes de la recolección de las heces. Luego de la adaptación se recolectó las heces por 9 días, durante los cuales se recogió las heces a las 6:30 h y 18:30 h. Al finalizar el experimento, se mezcló cada bolsa por animal experimental, obteniéndose 1 kg de heces por animal y se remitió al Laboratorio de Bioquímica de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su posterior análisis de concentración de Ti en heces por Espectrofotometría de absorción atómica.

La digestibilidad de la materia orgánica se obtuvo a partir del contenido de proteína en las heces de acuerdo con la metodología propuesta por Lukas *et al.* (2005); por lo que se remitió las heces al Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) del departamento de Nutrición Animal de la Universidad Nacional Agraria La Molina para el análisis de porcentaje de humedad, proteína fecal y ceniza.

Posteriormente, se calculó el consumo de materia orgánica mediante:

$$\text{CMO (g/vaca/d)} = \text{Excreción fecal (g MO/vaca/día)} / [1\text{-DMO (g/kg MO)} / 1000]$$

Donde:

CMO (g/d) = Consumo de materia orgánica

DMO (g/kg MO) = Digestibilidad de materia orgánica

Y finalmente se obtuvo el consumo de materia seca, mediante:

$$\text{CMS g/vaca/d} = (\text{CMO (g/vaca/d)} / \text{MO (g/kg MS)}) \times 1000$$

Donde:

CMS (g/d) = Consumo de materia seca

CMO (g/d) = Consumo de materia orgánica

MO (g/kg MS) = Materia Orgánica de la dieta

#### **3.2.4. Consumo de materia seca por IPCC (2019)**

**Vacas en lactación:**

$$\text{CMS} = 0.0185 \times \text{PV} + 0.305 \times \text{LCG}$$

Donde:

CMS = Consumo de materia seca (kg/d)

PV = Peso vivo inicial y final promedio de cada vaca (kg)

LCG\* = Leche corregida en grasa (kg/d) al 3.5 %,

\*Corrección de leche a grasa:  $[(0.4324 \times \text{kg de leche}) + (16.216 \times \text{kg de grasa})]$ .

**Vacas en seca:**

$$\text{CMS} = \text{PV}\% \times \text{Coeficiente}$$

Donde:

CMS = Consumo de materia seca (kg/d)

PV% = porcentaje de Peso vivo inicial y final promedio de cada vaca (kg).

Coeficiente = Es el coeficiente según la calidad de forraje que consumen los animales, siendo 1.8 (bajo) para las vacas en seca del establo según los parámetros de energía digestible de la dieta otorgada en campo.

### **3.3. TÉCNICA DE MEDICIÓN DIRECTA DE METANO ENTÉRICO**

El método directo utilizado fue la técnica de gas trazado por SF<sub>6</sub> y se basó en Alvarado-Bolovich *et al.* (2021). Para la técnica del gas trazador SF<sub>6</sub> se realizaron las etapas descritas en el Anexo III y IV.

#### **3.3.1. Calibración de capsula de permeación**

Las capsulas de permeación con SF<sub>6</sub> fueron calibradas en la estación experimental Santa Ana y se mantuvieron a 39°C en una estufa programada con 15 por ciento de ventilación durante los meses de enero a marzo. Se pesaron las capsulas durante 3 meses, pero solo los dos últimos meses se usaron para hallar la tasa de liberación (04/02/2019-28/03/2019). La calibración se realizó dos veces (martes y jueves) por semana, a las 10:00 am y se culminaba a las 10:20 am (Figura 6). Se seleccionaron las capsulas de modo que no haya una diferencia en las características de las capsulas seleccionadas (Johnson *et al.* 1994). Las capsulas seleccionadas se muestran en el Anexo V.



Figura 6. Pesaje de capsulas de permeación.

### 3.3.2. Construcción del sistema de colección

Los materiales empleados en cada paso se observan en el Anexo VI.

**Elaboración de Cánisters:** Se realizaron 35 cánister en forma de U (30x20x30) con un volumen de 2 L (Figura 7).

**Adecuar equipos y materiales para el sistema de colección:** Los equipos del laboratorio como: la bomba de vacío, el Manómetro, el Balón de nitrógeno y el Flujómetro se les colocó las piezas Swagelok Macho.

**Elaboración de Línea de flujo:** Los capilares dentro de la línea de flujo fueron de 5 cm y se calibraron con una presión de nitrógeno UHP de +800 mbar. La línea estaba interceptada por el flujómetro que medía el flujo en centímetros cúbicos por minuto para un llenado de 38 a 50 por ciento se calibró a 0.85-0.915 mbar.

**Prueba de vacío al sistema de colección:** La prueba de vacío consistió en hacer vacío durante 3 minutos a cada cánister, medir la presión inicial y luego de 24 hr

medir la presión final. Los sistemas de colección (cánister + línea de flujo) que luego de 24 hr mantenían un llenado entre el 38 y 50 por ciento fueron seleccionados para su uso.

**Crimpado y vació de viales para submuestreo:** Se obtenía 3 submuestras de cada sistema de colección diario en viales previamente crimpados con presión negativa. Por lo tanto, se hizo uso de 500 viales, los cuales abarcaron los viales con muestra, de prueba de vacío y de descarte.



Figura 7. Cánister en forma de “U” y Línea de flujo.

### 3.3.3. Muestreo y envío de gases espirados

**Colección de gas en campo:** El periodo de colección de muestra tuvo una duración de 9 días (Figura 8). Se colectaron las emisiones de 11 vacas y 2 de aire ambiental para determinar el nivel base de  $\text{CH}_4$  y  $\text{SF}_6$ , estos últimos fueron localizados en el área de pastoreo y el área del corral. En el experimento se utilizaron 35 cánister y 35 líneas de flujo calibradas bajo las condiciones de la zona. Todas las mañanas (4:00 am -5:30 am) los cánister fueron limpiados con nitrógeno ultrapuro para remover gas residual (2 veces por cánister) para luego generar vacío por 3 minutos. Los cánister

(n=15) eran trasladados a la sala de ordeño y puestos al frente de cada animal de manera al azar. El procedimiento iniciaba a las 6:00 am donde se realizaba el manejo en conjunto luego de colocar a los animales en las guillotinas. Primero, se desconectaban a los animales y se medía la presión diferencial final (Periodo de medición = 24 hr) de los cánister puestos el día anterior. La presión diferencial promedio final fue de -396 mbar (se descartaron presiones < -300 mbar y >-422 mbar), llenando entre el 38 al 50 por ciento de la capacidad de los cánister. La presión diferencial promedio inicial fue de -687 mbar. Los cánisters con muestra eran trasladados al laboratorio.



Figura 8. Sistema de colección de gas expirado en los animales

**Toma de muestra en el laboratorio:** Los cánisters con muestra eran sobrepresurizados con nitrógeno ultra puro entre 310 mbar a 380 mbar (presión diferencial) y se dejaban homogenizar por 2 horas (Figura 9). En ese tiempo se preparaban los viales Perkin Elmer de cromatografía de 22 ml; los cuales, eran ensamblados con un crimpador automático Perkin Elmer de 20 mm a sus septas de butilo y tapas de aluminio y se procedían a someterlos a vacío por 3 minutos. Aleatoriamente, se sometían 5 viales para prueba de vacío, diariamente. La prueba de vacío consistía en sumergir los viales con presión negativa en agua e insertar una aguja. El vial debía llenar sobrepasando el cuello del vial, de no ser el caso, se procedía a crimpar el lote de viales nuevamente.



Figura 9. Presión luego de sobre-presurizar con nitrógeno ultrapuro.

**Submuestreo de gas a viales:** Se realizaban 3 submuestreo por cánisters obteniéndose como máximo 39 viales de muestras por día. Algunos cánisters se descartaban por las presiones finales o por un sobre-presurización. El submuestreo se realizaba con una línea de muestreo que contenía silicagel para retener la humedad que podrían contener la muestra. Se extraía el aire con una jeringa de 50 ml. Se realizaban 5 eyecciones, de las cuales 2 se descartaban y las otras tres se tomaban para ser inyectadas en los viales. Los descartes se realizaban para evitar cualquier contaminación de un cánister anterior. Culminado el submuestreo, se realizaba limpieza de los cánisters con nitrógeno de alta pureza 3 veces por 3 minutos cada uno y se dejaba en vacío para corroborar al día siguiente su llenado y descartar algún cánister. Pudiéndose comenzar nuevamente con la limpieza en la mañana de los cánisters viables.

**Transporte de los viales:** Los viales con el gas espirado fueron almacenados en refrigeración a 4°C, hasta ser enviados. Los viales fueron rotulados todos los días experimentales teniendo en cuenta el animal y la fecha de muestra. Se procedió a guardarlos en cajas de cartón y asegurarlos con Tecnopor para que no haya movimientos bruscos en el transporte. Los viales con las muestras fueron remitidos al Laboratorio de Bioquímica de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su análisis por cromatografía.

### **3.4. ANÁLISIS DE LABORATORIO**

#### **3.4.1. Análisis de biomasa del campo de pastoreo y dieta de los animales experimentales**

La biomasa vegetal del campo de pastoreo se obtuvo mediante la determinación del porcentaje de humedad total de las muestras enviadas. Teniendo en cuenta la pérdida de humedad en el pre-secado en campo; se determinó el porcentaje de humedad total usando una estufa a 105°C por 24 horas (AOAC 2005). Luego se convirtió el peso obtenido por cuadrante a materia seca y se multiplico por el área (1 ha).

La dieta fue sometida a análisis de porcentaje de humedad usando una estufa a 105°C por 24 hr (AOAC 2005). Se evaluó el contenido de ceniza (Cz) con una mufla a 550 °C por 4 horas. La proteína cruda (PC) se determinó mediante el método Semi-Micro Kjeldahl (AOAC 2005) y la energía bruta (EB) de la dieta se determinó mediante el ensayo del valor calorífico (bomba adiabática) empleando el método ASTM D-2015-66 (1972). El contenido de fibra detergente neutro (FDN) de la dieta se determinó por la técnica de Van Soest *et al.* (1991) haciendo uso del analizador de fibra ANKOM200.

#### **3.4.2. Análisis químico de Leche y conversión a Leche corregida a energía (LCE)**

La evaluación de leche se realizó con el equipo Milko Scan “FOSS”, que usa la tecnología de análisis de rayos infrarrojos. Donde se determinó, de las dos muestras enviadas de cada animal experimental en lactación, el porcentaje de: grasa, sólidos no grasos, sólidos totales, proteína y lactosa.

Se determinó la Leche corregida a energía (LCE) mediante la ecuación de Sjaunja *et al.* (1990):

$$\text{LCE (kg)} = \text{Px (kg)} \times \left( \frac{38.30 \times \text{grasa} \left( \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right) + 24.20 \times \text{proteína} \left( \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right) + 16.54 \times \text{lactosa} \left( \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right) + 20.7}{3,140} \right)$$

Donde:

LCE = Leche corregida a energía (kg)

Px = Producción de leche (kg)

La producción promedio y los resultados de LCE de cada animal en lactación se muestran en el Anexo II.

### 3.4.3. Análisis de Materia Fecal

Las heces fueron pre secadas a 40°C por 5 días y luego, molidas a 1mm. Se determinó el porcentaje de humedad usando una estufa a 105°C por 24 h (AOAC 2005). La proteína total fecal se determinó mediante el método Semi-Micro Kjeldahl (AOAC 2005). La concentración de TiO<sub>2</sub> fue determinada por triplicado, para lo cual, las heces molidas pasaron por un procedimiento de digestión húmeda basado en Myers *et al.* (2004) para luego ser procesados en espectrofotometría de absorción atómica. Se obtuvo la excreción total de heces asumiendo la recuperación de TiO<sub>2</sub> en un 100% (Glindemann *et al.* 2009).

#### Determinación de concentración marcador TiO<sub>2</sub> en Materia Fecal

A las muestras de heces molidas se le realizó la digestión húmeda basado en Myers *et al.* (2004). El procedimiento de la digestión húmeda se describe en la Figura 10. Se utilizó el equipo modelo SavantAA de la Marca GBC para la espectrofotometría de absorción atómica. La muestra que paso por digestión húmeda fue absorbida por el aspersor e incinerada por la flama. La lámpara de Titanio (Ti) emitía un haz de luz que captaba los átomos de Ti excitados produciéndose una diferencia de energía, siendo esta captada por el software botando la absorbancia. Se realizó una curva de calibración de 50 a 200 ppm en la cual se obtuvo un R<sup>2</sup>: 0.9989 para luego correr las muestras (n°=33).

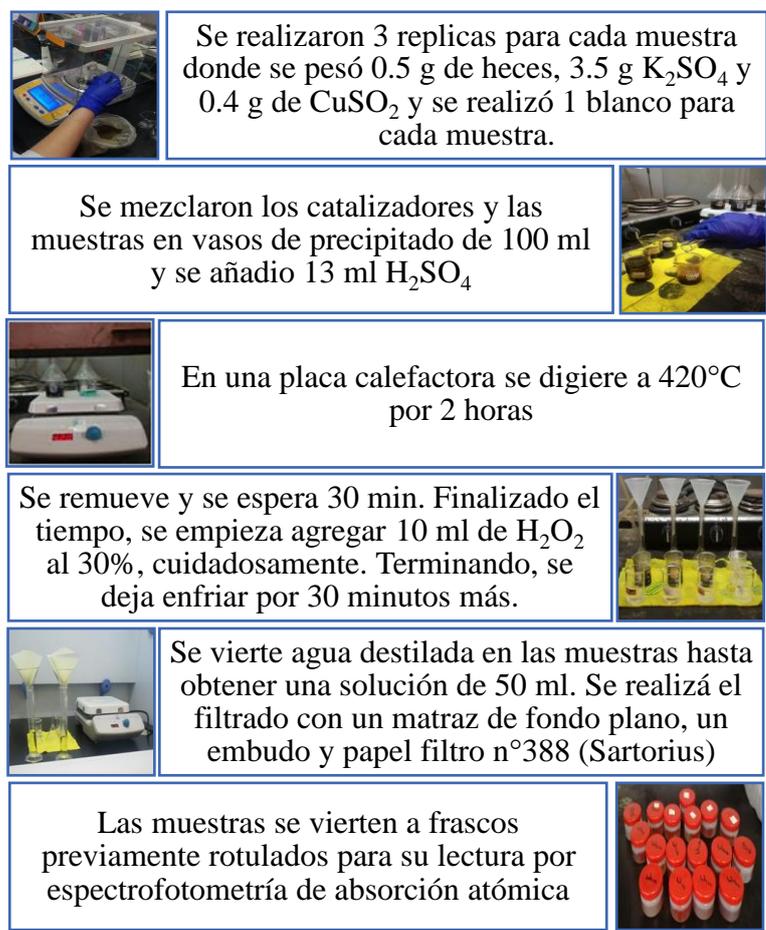


Figura 10. Procedimiento de digestión húmeda basado en Myers *et al.* (2004)

### Determinación de la Excreción fecal

Luego de obtener Ti (ppm), se obtuvo la concentración de TiO<sub>2</sub> (grTiO<sub>2</sub>/g MO) se dio uso a la materia orgánica hallada en el análisis fecal y por la fórmula de Smith y Reid (1954) se obtuvo la excreción fecal.

$$\text{Excreción fecal} \left( \frac{\text{gMO}}{\text{día}} \right) = \frac{\text{Consumo de dióxido de titanio} \left( \frac{\text{g}}{\text{día}} \right)}{\text{Concentración de dióxido de titanio en heces} \left( \frac{\text{g}}{\text{gMO}} \right)}$$

Donde; Consumo de TiO<sub>2</sub> fue de 10 g al día y la Concentración se obtuvo por animal experimental.

### **Determinación de Digestibilidad de Materia Orgánica**

Haciendo uso de la ecuación de Lukas *et al.* (2005), se dio uso a la Proteína Cruda (g/kg MO) en heces para hallar Digestibilidad de la Materia Orgánica (DMO):

$$\text{DMO (g/kg MO)} = 72.86 - 107.7 \times e^{(-0.01515 \times \text{PC (g/kg MO)})} \times 10$$

Donde:

MO = Materia Orgánica

PC = Proteína Cruda

### **Determinación de Energía Metabolizable**

La energía metabolizable de la dieta se obtuvo a partir del dMO (%) en base a la formula derivada de Aiple *et al.* 1992 citado por Dickhoefer *et al.* (2018).

$$\text{EM (MJ/kg MO)} = 0.9 + 17.0 \times \text{dMO (g/100g MO)}$$

Donde:

EM = Energía metabolizable

dMO = Digestibilidad de la Materia Orgánica

En el Anexo VII se muestra los resultados por animal experimental de la estimación de consumo de materia seca, concentración del Titanio en las Heces, digestibilidad de la Materia Orgánica y Energía Metabolizable.

### 3.4.4. Análisis de gas colectado

#### Análisis de muestras por cromatografía

La concentración de CH<sub>4</sub> y SF<sub>6</sub> fueron determinadas por cromatografía de gases (Agilent 7890B). La inyección de la muestra fue manual, inyectándose 0.6 ml de muestra gaseosa al puerto de inyección. La detección de la muestra fue por la columna GS-GASPRO de 30 m y 0.32 mm, específica para la evaluación de CH<sub>4</sub> y SF<sub>6</sub>. El CH<sub>4</sub> usó el detector ionización de flama (FID) y el SF<sub>6</sub> el detector de captura de electrones (ECD). El pico de CH<sub>4</sub> se dio a los 4 min y SF<sub>6</sub> a los 2.5 a 3 min. Antes de proceder a evaluar las muestras de gas espirado se preparó dos curvas de calibración obteniéndose R<sup>2</sup> = 99.68 para CH<sub>4</sub> y R<sup>2</sup>= 99.92 para SF<sub>6</sub>, se hizo uso del estándar de metano de 48.7 ppm y del estándar del gas SF<sub>6</sub> de 237.9 ppt.

#### Cálculo de metano entérico

Luego de obtener las concentraciones de CH<sub>4</sub> (ppm) y SF<sub>6</sub> (ppt) se corrigió las concentraciones de CH<sub>4</sub> y SF<sub>6</sub> con las presiones iniciales y finales del periodo de muestreo:

$$CGC = CG \times [PA - PN] / [PI - PF]$$

Donde, CGC: Concentración de CH<sub>4</sub> (ppm) y SF<sub>6</sub> (ppt) corregida. CG: Concentración de CH<sub>4</sub> (ppm) y SF<sub>6</sub> (ppt) obtenida del cromatógrafo. PA: Presión ambiental promedio. PN: Presión final del cánister luego de la sobre presurización con nitrógeno. PI: Presión inicial del cánister al vacío. PF: Presión final del cánister luego de las 24 horas de colección.

Obtenido las concentraciones se procedió a calcular la emisión de metano por animal al día utilizando la ecuación de William *et al.* (2011):

$$\text{CH}_4\text{Q} = [\text{SF}_6\text{Q}] \times [(\text{CH}_4\text{C} - \text{CH}_4\text{B}) / (\text{SF}_6\text{C} - \text{SF}_6\text{B})] \times [\text{CH}_4\text{MM} / \text{SF}_6\text{MM}]$$

Donde,  $\text{CH}_4\text{Q}$  (g/d) es la emisión de metano entérico por vaca día;  $\text{SF}_6\text{Q}$  es la tasa de liberación de la cápsula  $\text{SF}_6$  (mg/d);  $\text{CH}_4\text{B}$  y  $\text{SF}_6\text{B}$  son las concentraciones de los blancos;  $\text{CH}_4\text{C}$  y  $\text{SF}_6\text{C}$  son las concentraciones calculadas en los cánister y  $\text{CH}_4\text{MM}$  y  $\text{SF}_6\text{MM}$  son las masas molares de los gases.

Luego de calcular las emisiones de  $\text{CH}_4$  por vaca (g/vaca/día), también se expresaron por kg de  $\text{PV}^{0.75}$  (g/kg  $\text{PV}^{0.75}$ ), por unidad de consumo de materia seca (g/kg MS), por unidad de consumo de materia orgánica (g/kg MO) por kg de FDN consumido (g/kg FDN), por unidad de LCE (g/kg LCE), por unidad de producción de leche (g/kg Leche) y como porcentaje de la energía bruta convertida a metano ( $Y_m$ ). Las emisiones de metano entérico se muestran en los Anexos VIII y IX.

### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó la comparación de emisión de metano entérico por vacas en lactación y vacas en seca obtenidas por la técnica de gas trazador  $\text{SF}_6$ , la comparación de emisión de metano entérico por vacas en lactación y vacas en seca obtenidas usando la metodología IPCC Tier II, la comparación de la emisión de metano entérico por ambas metodologías, la comparación del consumo voluntario obtenido utilizando marcador  $\text{TiO}_2$  y el estimado por requerimiento de energía. Para todos estos análisis se utilizó la prueba de medias T student para dos muestras independientes haciendo uso del Software R. Se utilizó Shapiro-test para la prueba de normalidad y Barlett-test para la prueba de homogeneidad de varianzas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. VALOR NUTRICIONAL Y CONSUMO DE ALIMENTO

En la Estación experimental Agropecuaria “Santa Ana” se encontró una disponibilidad de biomasa para pastoreo de 3,039.9 kg de materia seca por hectárea. La composición florística estaba conformada por 5 especies cultivadas (57.7%) y el resto eran especies invasoras (42.3%). La cobertura vegetal fue de 87.3 por ciento siendo *Lolium perenne* L. la especie con mayor frecuencia (48.5%). De las especies cultivadas; las gramíneas representaron el 50.4 por ciento y las leguminosas el 7.3 por ciento, de las cuales las predominantes fueron Rye grass inglés (*Lolium perenne* L.) y Trébol blanco (*Trifolium repens* L.) (Anexo X).

La dieta de los animales estuvo conformada en un 63 por ciento por las pasturas en el área de pastoreo y en un 37 por ciento por la suplementación con avena y vicia. Se consideró esas proporciones debido a que los animales pasaban el mayor tiempo del día pastoreando (10 am – 15:00 pm). La composición química de la dieta de los animales se muestra en la Tabla 1. La proteína cruda del área de pastoreo fue de 175.2 g/kg MS. Avalos y Flores (2015) en una evaluación anual de pasturas asociadas de ryegrass/trébol determinaron que la proteína cruda en el mes de abril era aproximadamente 160 g PC/kg MS, siendo semejante a lo hallado en el presente estudio. Bojórquez (1998) para una pastura asociada rye grass/trébol en el valle de Mantaro (3300 msnm) con descanso de 30 días obtuvo 200 g PC/kg MS; siendo mayor a lo obtenido en el estudio posiblemente por la diferencia en el método de muestreo (método de corte) y la composición botánica. La proteína cruda de la asociación avena (60%)-vicia (40%) fue de 153.7 g PC/kgMS. Enciso *et al.* (2019) en la evaluación de una asociación de avena (70%)-vicia (30%) obtuvieron 76 g

PC/kg MS, siendo un valor muy inferior a lo encontrado. Flores *et al.* (2016) en la evaluación de asociación avena (65%)- vicia (35%) obtuvieron 142 g PC/kg MS, asemejándose al estudio. La avena al encontrarse en menor proporción que las otras asociaciones, genera que el porcentaje de proteína cruda de la asociación en estudio sea superior por la mayor cantidad de vicia.

La fibra detergente neutra del campo de pastoreo fue de 572.1 g FDN/kg MS siendo mayor a lo reportado por Florián (2019) donde en parcelas de Ryegrass- trébol encontró valores de 510 – 548 g FDN/kg MS con 70 a 80 días. La fibra detergente neutra de la avena (60%)-vicia (40%) fue de 634.5 g FDN/kg MS. Flores *et al.* (2016) obtuvo para una asociación avena (65%) – vicia (35%) 599 g FDN/kg MS, siendo menor a lo encontrado. Montoya (2017) a la evaluación de pasturas de avena y vicia en la sierra central del Perú, encontró para variedades de avena un rango de 659 a 737 g FDN/kg MS en estado de grano pastoso y para una variedad de vicia 570.2 g FDN/kg MS; siendo posible la FDN obtenida en el estudio para una asociación de avena-vicia. Sin embargo, Bartl *et al.* (2009) en un estudio realizado para variedades de avena en el valle de Mantaro encontró valores de 578- 585.1 g FDN/kg MS y para vicia de 377 g FDN/kg MS. Las diferencias en edad vegetativa, variedad de las especies y la proporción de especies hicieron variar la composición química de las especies de las plantas evaluadas.

Tabla 1. Composición química del forraje y dieta (base seca)

<b>Alimentación en base seca</b>			
	Avena (60%) y Vicia (40%)*	Pastoreo	Dieta
MO (g/kg)	894.9	891.2	892.5
PC (g/kg)	153.7	175.2	167.3
FDN (g/kg)	634.5	572.1	595.1
EB (MJ/kg)	16.7	16.5	16.6

\*Composición del forraje al corte, MO: Materia Orgánica, PC: Proteína Cruda, FDN: Fibra Detergente Neutra, EB: Energía Bruta

La digestibilidad de la materia orgánica (DMO) a partir de la proteína fecal se muestra en la Tabla 2. Las vacas en lactación tuvieron una DMO de 638 g/kg MO (3.8 EE) y las vacas en seca de 642.8 g/kg MO (6.3 EE) ( $p > 0.05$ ). Alvarado-Bolovich *et al.* (2021) obtuvieron un promedio de DMO por proteína fecal de 680 g/kg MO y 625 g/kg MO en vacas en lactación en época de lluvias sometidas a pasturas de avena y alfalfa con suplementación de concentrado; y pastos naturales, respectivamente. Estas diferencias en DMO es por la relación directa entre FDN y digestibilidad por lo que el alto contenido de FDN (595 g/kg MS) encontrado en la dieta del presente estudio se reflejó en una menor digestibilidad para los dos grupos evaluados (Glindemann *et al.* 2009). La energía metabolizable de lo que consumieron cada animal fue de 9.75 MJ/kg MS (0.1 EE) para las vacas en lactación y 9.81 MJ/kg MS (0.1 EE) para vacas en seca. Bojórquez (1998) y Greenty y Rattray (1987) señalan que el valor mínimo requerido por vacas lecheras con óptima producción es de 10 MJ EM/kg MS.

El consumo de los animales se muestra en la Tabla 2; el cual fue para vacas lactantes de 12.6 MS/vaca lactante/d (0.3 EE) y para las vacas en seca de 11.5 MS/vaca seca/d (0.1 EE) ( $p < 0.05$ ); siendo menor a lo reportado por Alvarado-Bolovich *et al.* (2021) de 13.2 MS/vaca/d con una dieta de pasturas de avena y alfalfa, y suplementada con concentrado. El consumo expresado en porcentaje de peso vivo fue de 2.4 % (0.1 EE) en vacas de lactación y 2.0 % (0.1 EE) para vacas en seca ( $p < 0.05$ ). Muñoz *et al.* (2018) reportaron un consumo que representaba el 2.07% del peso vivo de los animales, los cuales tenían peso promedio de 594 kg. Dini *et al.* (2018) en pasturas de baja calidad (DMO =56%) obtuvo consumo de 10.1 kg/d que representaba el 2.5% del peso vivo de los animales.

Tabla 2. Digestibilidad de materia orgánica y consumo de vacas en lactación y seca

	Vacas en lactación	Vacas en seca	P-valor
DMO (g/kg MO)	638.0	642.8	> 0.05
Consumo (kg MS/vaca/d)	12.6	11.5	< 0.05
Consumo (% PV)	2.4	2.0	< 0.05

#### 4.2. EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO DETERMINADO POR TÉCNICA DE GAS TRAZADOR SF<sub>6</sub>

Los resultados de las emisiones de metano entérico se muestran en la Tabla 3. La emisión de metano entérico para vacas de lactación fue de 358.5 g CH<sub>4</sub>/d (8.0 EE); lo cual es un valor semejante a lo obtenido por Lee et al. (2004) (364.6 g CH<sub>4</sub>/d) y Dini *et al.* (2012) (372 g CH<sub>4</sub>/d) que evaluaron con la técnica de gas trazador SF<sub>6</sub> animales con alimentación a base de Rye grass y Trébol blanco. Por lo contrario, Alvarado-Bolovich *et al.* (2021) que evaluaron en vacas multíparas lactantes Brown Swiss en condiciones ambientales parecidas al estudio, obtuvo un menor valor promedio (322 g CH<sub>4</sub>/d) de emisión de metano. La emisión de metano esta directamente relacionada con el nivel de consumo de los animales y este con la digestibilidad y el contenido de fibra detergente neutra (FDN) de la dieta. La emisión obtenida en el estudio es posible por la naturaleza de la dieta siendo esta en mayor porcentaje gramíneas y malezas, las cuales poseen mayor FDN a comparación de dietas con una adecuada cantidad de leguminosas (Hammond *et al.* 2011). Asimismo, dietas suplementadas con concentrado producen menor tiempo de retención, mayor tasa de pasaje y menor producción de metano (Pinares-Patiño *et al.* 2003b). En estudios con pasturas naturales, Moscoso *et al.* (2017) reportaron emisiones para animales Brown Swiss suplementados con ensilado de avena de 421.7 g CH<sub>4</sub>/d, reforzando la idea de que las pasturas naturales por su naturaleza contienen mayor fibra aumentando la emisión de metano de los animales (Waghorn y Woodward

2006). En contraste, Alvarado-Bolovich *et al.* (2021) en pasturas naturales obtuvieron una emisión promedio de 213 g CH<sub>4</sub>/d de vacas multíparas Brown Swiss en época de lluvia, siendo un valor inferior a lo obtenido, lo cual se debe a que la fibra puede restringir el consumo a través de la aceptabilidad, en términos de cantidad, reduciendo el aumento de H<sub>2</sub> para la utilización y producción de CH<sub>4</sub>. Lo hallado en el estudio reafirma que el principal factor de variación de emisiones en términos absolutos se debe a la ingesta de materia seca y su consecuente efecto de salivación, digestión y tasa de pasaje (Pinares-Patiño *et al.* 2007).

La emisión de metano en vacas de seca fue de 337.4 g CH<sub>4</sub>/d (7.5 EE) lo cual no tuvo diferencia significativa con la emisión de vacas lactantes ( $p > 0.05$ ) coincidiendo con Montenegro-Ballesterero *et al.* (2019) donde en la evaluación de todas las etapas fisiológicas de una finca de producción de leche no encontraron diferencias significativas en las emisiones diarias de los animales con rangos de 240 a 440 g CH<sub>4</sub>/d. Vlaming *et al.* (2008) señalan que mediante el uso de la técnica SF<sub>6</sub> existe una gran variación en la medición diaria de un mismo animal y entre animales de la misma especie y categoría; a pesar de que consuman la misma dieta. Por lo que, es esperable una variación amplia en las categorías; asimismo, los animales en lactación se encontraban en lactancia media y tardía con producciones bajas de leche, lo que podría limitar su requerimiento de energía asemejándose a las vacas en seca y por tanto acercándose al consumo.

El nivel de consumo es el principal factor de emisión de metano, por lo que, en el estudio para los estados fisiológicos, se obtuvo 29.0 g CH<sub>4</sub>/kg MS (0.7 EE) para vacas en lactación y 28.7 g CH<sub>4</sub>/kg MS (0.4 EE) para vacas en seca, no encontrándose diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). Van Wyngaard *et al.* (2018) en un estudio en vacas jersey con una alimentación al pastoreo predominante en kikuyo; obtuvieron 29.1 g CH<sub>4</sub>/kg CMS sin ninguna suplementación de concentrado, coincidiendo con el estudio en el rendimiento de metano por unidad de materia seca. Montenegro-ballesterero *et al.* (2019) encontraron en vacas secas 27.5 g CH<sub>4</sub>/kg CMS y en vacas lactantes 21.1 g CH<sub>4</sub>/kg, siendo distinto a lo hallado en el presente estudio donde las vacas lactantes tuvieron mayor emisión por kilogramo de materia seca consumida

pero no se encontró diferencia significativa por el limitado número de animales. Otros estudios realizados en vacas lactantes obtuvieron entre 21 a 24 g CH<sub>4</sub>/kg CMS; lo cual se debió al mayor consumo de los animales y la calidad de la dieta, que en su mayoría estaba suplementada con concentrado (Dini *et al.* 2012, Muñoz *et al.* 2016, Muñoz *et al.* 2018, Alvarado-Bolovich *et al.* 2021). La expresión de metano por CMO es más específica, siendo el sustrato que utilizan los microorganismos para la producción de metano. A pesar de ello, pocos estudios han expresado metano entérico por consumo de materia orgánica. Dini *et al.* (2018) en época de invierno usando vaquillas obtuvo para pasturas de baja calidad nutricional y alta calidad nutricional 33.4 y 36.7 g CH<sub>4</sub>/kg CMO, respectivamente; siendo valores semejantes a lo hallado en el presente estudio (32.5 g CH<sub>4</sub>/kg CMO (0.8 EE) y 32.2 g CH<sub>4</sub>/kg CMO (0.5 EE). Sin embargo, Alvarado-Bolovich *et al.* (2021) obtuvieron en época de lluvias 26.1 g CH<sub>4</sub>/kg CMO en pasturas cultivadas y 34.0 g CH<sub>4</sub>/kg CMO en pasturas naturales.

La expresión de CH<sub>4</sub> por consumo de fibra detergente neutra (CFDN) se relaciona directamente con el aumento de emisión de metano debido al potencial metanogénico de los carbohidratos estructurales (Moe y Tyrrell 1979). En el estudio se obtuvieron valores de 73.0 (2.7 EE) y 66.7 (2.6 EE) g CH<sub>4</sub>/kg CFDN no encontrando diferencia significativa entre los estados fisiológicos ( $p > 0.05$ ). Alvarado-Bolovich *et al.* (2021) obtuvieron valores menores (34.3 y 37.9 g CH<sub>4</sub>/kg CFDN) de metano emitido por kg de FDN consumida para la dieta a base de pasturas naturales y halló valores similares al estudio (68.4 y 72.6 g CH<sub>4</sub>/kg CFDN) en pasturas cultivadas. Por otro lado, otros estudios sugieren realizar la expresión por FDN digerible ya que es de ahí donde se obtiene el potencial metanogénico (Pinares- Patiño *et al.* 2003b y Pinares-Patiño *et al.* 2007). La expresión de metano entérico por peso metabólico nos ayuda a expresar la pérdida de energía a través de metano con el requerimiento de energía por kilogramo de tejido activo del animal; donde no se encontró diferencia entre las etapas productivas ( $p > 0.05$ ). Pedreira *et al.* (2009) compararon diferentes etapas fisiológicas de dos razas distintas donde no se encontró diferencia significativa para las categorías de cada raza; hallando valores para vacas Holstein en lactación de 3.5 g CH<sub>4</sub>/kgPV<sup>0.75</sup> y para vacas Holstein en seca de 2.3 g CH<sub>4</sub>/kgPV<sup>0.75</sup>; coincidiendo con el presente estudio.

La producción en vacas de lactación fue de 5.7 kg de leche (0.8 EE) y realizando la corrección a energía fue de 6.8 (0.2 EE). La intensidad de emisión fue expresada en leche corregida a energía y por litros producidos. Se obtuvieron 116.3 (49.4 EE) g CH<sub>4</sub>/ kg de leche y 107.9 (51.5 EE) g CH<sub>4</sub>/LCE; los cuales fueron similares a lo hallado por Alvarado-Bolovich *et al.* (2021) que reportaron 68.9 g CH<sub>4</sub>/LCE en época de lluvias y 136 g CH<sub>4</sub>/LCE en época seca en pasturas naturales con una producción promedio de 2 L de leche al día; pero difirió en pasturas cultivadas, teniendo producciones de 13 a 10 kg de leche con 25.2 y 28.5 g CH<sub>4</sub>/LCE, respectivamente. Gómez y Fernández (2009) obtuvieron en la evaluación de un establo en Junín 0.13 kg CH<sub>4</sub>/ kg de leche que es equivalente a 130 g CH<sub>4</sub>/ kg de leche teniendo producciones menores de 2.6 L/d y emisiones de metano de 121 kg CH<sub>4</sub>/animal/año o 331.5 g CH<sub>4</sub>/animal/d. En contraste, Muñoz *et al.* (2018) obtuvieron para vacas que producían 9.6 kg de leche, una intensidad de emisión de 35.5 g CH<sub>4</sub>/kg de leche, siendo un valor mucho menor al obtenido en este estudio. Van Wyngaard *et al.* (2018) obtuvo 35.5 g CH<sub>4</sub>/kg de leche y 28.8 g CH<sub>4</sub>/LCE de vacas sin suplementación y con producción promedio de 9.0 kg de leche. En la investigación, los animales tuvieron producciones muy diferentes (CV = 71.8%). Por lo que si se separaba por producción mayor a 5 L diarios (n=3), se obtenían valores de 41.6 g CH<sub>4</sub>/kg de leche y 35.5 g CH<sub>4</sub>/LCE, siendo valores mucho más cercanos a los obtenidos en los estudios anteriormente mencionados.

La optimización del uso de la energía para la producción y mantenimiento es lo que se busca en las grandes producciones pecuarias, por eso la expresión de la pérdida de energía bruta en forma de metano, para una alimentación específica, es importante a tener en cuenta. El presente estudio obtuvo 9.7 (0.2 EE) para vacas en lactación y 9.6 (0.1 EE) para vacas en seca. Montenegro-Ballesteros *et al.* (2019) obtuvo 6.7 y 8.1 por ciento para vacas a finales de lactación y vacas en secas, respectivamente. Primavesi *et al.* (2004) en bovinos lecheros de 2 razas distintas y diferente etapa fisiológica obtuvo 8.3 por ciento para vacas Holstein de lactación y 7.6 por ciento para vacas Holstein secas y para vacas Holstein mestizas en lactación 10.6 por ciento y para vacas Holstein mestizas en secas 9.1 por ciento. Van Wyngaard *et al.* (2018) obtuvo 8.9, 9.0 y 7.9 por ciento para tratamientos con 0; 4 y 8 kg/d de concentrado,

respectivamente; con alimentación a base de pasturas. En el Perú, Alvarado-Bolovich *et al.* (2021) obtuvieron valores de 7.8 por ciento para pasturas cultivadas y 7.4 por ciento para pasturas nativas en época de lluvias; siendo valores muy inferiores a lo encontrado en el estudio. Según la IPCC (2006) los valores de Ym son de 5,5 a 7,5 por ciento para vacas de producción y vacas multipropósito y la IPCC (2019) los valores de Ym aceptados se encuentran entre 5.7 y 6.5 por ciento para vacas en producción y entre 3 a 7 por ciento en vacas que no son de producción y/o multipropósito. Sin embargo, Johnson y Johnson (1995) encontraron un rango de Ym de 2 a 12 por ciento y Blaxter y Clapperton (1965) encontraron un rango de 7.5 a 9 por ciento en vacas en mantenimiento, lo cual decrecía conforme aumentaba los requerimientos. Estos valores superiores encontrados son posiblemente porque la dieta se basó solamente en forrajes cultivados de media a baja calidad, lo cual tenía inferior cantidad de energía digestible que los anteriores estudios mencionados (Harper *et al.* 1999).

Tabla 3. Emisión de metano entérico por vacas en lactación y seca

Emisión de CH <sub>4</sub> entérico	Técnica de gas trazador SF <sub>6</sub>		P-valor
	Lactante	Seca	
gCH <sub>4</sub> /d	358.5 ± 8.0 <sup>1</sup>	337.4 ± 7.5	0.1
gCH <sub>4</sub> /kg CMS	29.0 ± 0.7 <sup>1</sup>	28.7 ± 0.4	0.7
gCH <sub>4</sub> /kg CMO	32.5 ± 0.8 <sup>1</sup>	32.2 ± 0.5	0.7
gCH <sub>4</sub> /kgPV <sup>0.75</sup>	3.1 ± 0.2	2.9 ± 0.1	0.2
gCH <sub>4</sub> /kg CFDN	73.0 ± 2.7	66.7 ± 2.6	0.1
Ym	9.7 ± 0.2 <sup>1</sup>	9.6 ± 0.1	0.7
gCH <sub>4</sub> /kg de leche	116.3 ± 49.4		
gCH <sub>4</sub> /LCE	107.9 ± 51.5		

<sup>1</sup>n=4, Media ± EE, CMS: Consumo de MS, CMO: Consumo de MO, CFDN: Consumo de FDN, Ym: porcentaje de EB destinada a la producción de metano, LCE: Leche corregida a energía.

Los datos de los animales experimentales obtenidos en campo se emplearon para usar la metodología Tier II de la IPCC (2019) (Anexo XI); donde las vacas en lactación tuvieron un estimado de emisión de metano de 294.7 g CH<sub>4</sub>/d (12.8 EE) y las vacas en seca de 183.4 g CH<sub>4</sub>/d (7.1 EE) (p<0.05) y a la comparación con las emisiones de metano medidas por SF<sub>6</sub>; las vacas en lactación y las vacas en seca tuvieron 21 y 84 por ciento más emisión de metano que lo estimado por Tier II.

Los resultados de la comparación entre métodos se muestran en la Tabla 4. El consumo hallado por IPCC (2019) fue de 11.3 (0.3 EE) kg/vaca lactante/d y 10.4 (0.3 EE) kg/vaca seca/d (Anexos XII y XIII), no encontrándose diferencia significativa entre las etapas productivas (p>0.05). El rendimiento de emisión para la metodología Tier II fue de 25.1 (1.4 EE) para vacas en lactación y 17.3 (0.2 EE) para vacas en seca (p< 0.05). A la comparación de los rendimientos obtenidos por SF<sub>6</sub> y Tier II para las vacas en lactación no hubo diferencia significativa (p>0.05). El rendimiento de emisión de metano para vacas en secas fue 65 por ciento más por SF<sub>6</sub> que por Tier II. Estas diferencias entre ambos métodos pueden deberse a que la producción láctea de las vacas de lactación en el estudio tuvo un coeficiente de variación amplio u otros factores como los métodos empleados para obtener el consumo. Asimismo, en todos los animales evaluados por Tier II; se utilizó el Y<sub>m</sub> que presentaba la IPCC (2019), los cuales son estimados por estudios con distintas características de producción.

Con respecto al consumo estimado para cada metodo, Medrano (2019) señala que al utilizar al indicador TiO<sub>2</sub> puede que se halla sobreestimado el consumo y que una parte fundamental es el número de colectas al día de las heces y Sampaio *et al.* (2011) sugirieron coleccionar mínimo cuatro veces al día; sin embargo, Myers *et al.* (2006) recolectaron dos veces al día haciendo uso de las capsulas de gelatina encontrando que la reducción en la frecuencia no afecta las concentraciones medias del marcador. Asimismo, la IPCC (2019) menciona que los valores de consumo varían entre 2 a 3 por ciento del peso vivo. Sin embargo, el consumo de los animales según la IPCC (2019) fue de 2.1 por ciento (0.1 EE) para vacas en lactación y 1.8 por ciento (0.02 EE) para vacas en seca, coincidiendo con Flores *et al.* (2006) para una asociación de

gramínea- leguminosa en la sierra del Perú que reportó un consumo entre 1.3 a 2.4 por ciento de peso vivo.

En lo que respecta al porcentaje de energía bruta destinada a metano (Ym), se reemplazó el Ym de la IPCC (2019) por el obtenido con el gas trazador SF<sub>6</sub> obteniéndose un promedio de emisión para vacas de lactación de 387.3 ± 103.4 g CH<sub>4</sub>/d y para vacas en seca de 269.3 ± 24.9 g CH<sub>4</sub>/d (P< 0.05), encontrándose diferencia entre ambas, pero a la comparación con lo obtenido con el gas trazador SF<sub>6</sub> no se encontró diferencia entre las vacas lactantes, pero si entre las vacas secas (Anexo XIV); subestimando las emisiones de estas últimas. Igualmente, Jiménez *et al.* (2021) realizaron una investigación donde compararon las emisiones de metano por Tier II usando Ym de 6.5 por ciento de la IPCC (2006) y las emisiones de metano utilizando Ym de 5.54 por ciento reportado en la región tropical donde se realizaba el experimento obteniendo que el Tier II sobre estimaba las emisiones de metano.

Tabla 4. Emisión de metano entérico usando trazador SF<sub>6</sub> y metodología Tier II por estado fisiológico

Estado fisiológico	Método		P-valor	
	SF <sub>6</sub>	Tier II		
Lactación	gCH <sub>4</sub> /d	358.5 ± 8.0 <sup>1</sup>	294.7 ± 12.8 <sup>1</sup>	0.03
	gCH <sub>4</sub> /kg CMS	29.0 ± 0.7 <sup>1</sup>	25.1 ± 1.4	0.05
	CMS (kg/d)	12.6 ± 0.3	11.3 ± 0.3 <sup>1</sup>	0.01
	MO (kg/d)	11.2 ± 0.3	10.5 ± 0.2 <sup>1</sup>	0.05
Seca	gCH <sub>4</sub> /d	337.4 ± 7.5	183.4 ± 7.1	0.00
	gCH <sub>4</sub> /kg CMS	28.7 ± 0.4	17.3 ± 0.2 <sup>2</sup>	0.00
	CMS (kg/d)	11.5 ± 0.1 <sup>2</sup>	10.4 ± 0.3	0.00
	MO (kg/d)	10.3 ± 0.1 <sup>2</sup>	9.4 ± 0.3	0.02

<sup>1</sup> n=4, <sup>2</sup>n=5, Media ± EE, CMS: consumo de materia seca, MO: materia orgánica

## V. CONCLUSIONES

Se concluye que bajo las condiciones en que se llevó a cabo el experimento:

1. Las emisiones de metano entérico por vacas de lactación ( $358.5 \pm 8.0$  g CH<sub>4</sub> /día) no tienen diferencias estadísticas con las emisiones de vacas en seca ( $337.4 \pm 7.5$  g CH<sub>4</sub> /día).
2. El factor de conversión de energía bruta a CH<sub>4</sub> no varía entre vacas lactantes o secas ( $9.7 \pm 0.2$  %).
3. Las emisiones de metano entérico por kilogramo de materia orgánica por vacas de lactación ( $32.5 \pm 0.8$  CH<sub>4</sub>/kg CMO) no tienen diferencias estadísticas con vacas en seca ( $32.2 \pm 0.8$  CH<sub>4</sub>/kg CMO).
4. Las emisiones de metano entérico por peso vivo metabólico de vacas de lactación ( $3.1 \pm 0.2$  CH<sub>4</sub>/kg PV<sup>0.75</sup>) no tienen diferencias estadísticas con las emisiones de metano entérico por peso vivo metabólico de vacas en seca ( $2.9 \pm 0.1$  CH<sub>4</sub>/kg PV<sup>0.75</sup>).

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Realizar la medición de metano entérico de hatos lecheros con un manejo de forraje de alto y bajo valor nutricional.
2. Caracterizar las pasturas y medir el consumo diario de los animales al pastoreo para el desarrollo de una ecuación de predicción de emisión de metano entérico con relación al valor nutricional de la pastura consumida.
3. Realizar la medición de metano entérico según el nivel de producción de vacas en lactación para tomar una estrategia alimentaria para cada nivel de producción reduciendo las emisiones de metano entérico en un sistema semi-intensivo de la sierra peruana.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarado-Bolovich, V; Medrano, J; Haro, J; Castro-Montoya, J; Dickhoefer, U; Gómez, C. 2021. Enteric methane emissions from lactating dairy cows grazing cultivated and native pastures in the high Andes of Peru. *Livestock Science* 243(1). doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104385>

ASTM (American Society for testing and materials). 1972. ANSI/ASTM D 2015-66. Standard Method for Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter. In: Annual book of ASTM Standards, 26, Philadelphia, USA.

Angeles, S. 2014. Fermentación ruminal, tamaño de partícula y efecto de la fibra en la alimentación de vacas lecheras (en línea). Sitio Argentino de Produccion Animal 1-8. Consultado 06 marzo 2021. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/manejo\\_del\\_alimento/104-fermentacion\\_ruminal.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/104-fermentacion_ruminal.pdf)

AOAC. 2005. Official methods of analysis of AOAC Internacional. 18th edition. Association of Official Analytical Chemists, Rockville, Maryland, USA.

Arauco V, F. 2015. Descripción de sistema productivos en hatos lecheros del Valle del Mantaro y factores de riesgo para la Dierrea Viral Bovina y Neosporosis. *Apuntes de Ciencia y Sociedad* 5(2): 293- 303. doi: <https://doi.org/10.18259/acs.2015041>

Avalos, P. y Flores, E. 2015. Dinamica de la producción de pasto y balance forrajero de un módulo de vacas lecheras, en la sierra central. *Anales Cientificos* 76(2): 344-349. doi:<http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i2.800>

Bartl, K; Gamarra, J; Gómez, CA; Wettstein, H-R; Kreuzer, M; Hess, HD. 2009. Agronomic performance and nutritive value of common and alternative grass and legume species in the Peruvian highlands. *Grass and Forage Science* 64(2): 109-121. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2008.00675.x>

Ballesteros, HOB y Aristizabal, GEL. 2007. Información técnica sobre Gases del Efecto Invernadero y el Cambio Climático. Bogotá, Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 102 p. Informe 008-2017. Consultado 08 marzo 2021. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>

Benaouda, M; González-Ronquillo, M; Molina, L; Castelán-Ortega, O. 2017. Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina(en línea). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 965-974.Consultado 08 marzo 2021. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.20>

Berndt, A; Boland, T; Deighton, M; Gere, J; Grainger, C; Hegarty, R; Iwaasa, A; Koolgaard, J; Lassey, KR; Luo, D; Martin, R; Martin, C; Moate, P; Molano, G; Pinares-Patiño, CS; Ribaux, BE; Swainson, NM; Waghorn, GC; Williams, S. 2014. Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer technique to measure enteric (en línea). New Zealand, New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre. 166 P. M. G. Lambert, ed. Consultado 08 marzo 2021. doi: 10.13140/2.1.2271.8241

Blaxter, K y Clapperton, J. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition* 19(1): 511-522. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19650046>

Bojórquez, C. 1998. Producción de pastos cultivados en tres zonas agroecológicas de la sierra central (en línea). *Revista de Investigación Pecuaria IVITA* 9(1): 20-31. Consultado 08 marzo 2021. Disponible en [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/veterinaria/v09\\_n1/PDF/a02.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/veterinaria/v09_n1/PDF/a02.pdf)

Bonilla, JA y Lemus, C. 2012. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión (en línea). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 3(2): 215-246. Consultado 08 marzo 2021. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242012000200006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242012000200006)

Broucek, J. 2014. Production of Methane Emissions from Ruminant Husbandry: A Review. *Scientific Research* 5(1): 1482-1493. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2014.515141>

CAIT. 2016. Climate Watch: Global Historical Emissions (en línea). Consultado 08 marzo 2021. Disponible en [https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end\\_year=2017&start\\_year=1990](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2017&start_year=1990)

Carmona, JC; Bolivar, DM; Giraldo, LA. 2005. The gas methane in the cattle production and alternative to measure its emissions and to lessen its impact at environmental and productive level. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 18(1): 49-63. Consultado 08 marzo 2021. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf>

Dickhoefer, U; Glowacki, S; Gómez, C; Castro-Montoya, JM. 2018. Forage and protein use efficiency in dairy cows grazing a mixed grass-legume pasture and supplemented with different levels of protein and starch. *Livestock Science* 216(1): 109-118. doi:10.1016/j.livsci.2018.08.004

Dini, Y; Gere, J; Briano, C; Manetti, M; Juliarena, P; Picasso, V; Gratton, R; Astigarraga, L. 2012. Methane Emission and Milk Production of Dairy Cows Grazing Pastures Rich in Legumes or Rich in Grasses in Uruguay. *Animals* 2: 288-300. doi:10.3390/ani2020288

Dini, Y; Gere, J; Cajarville, C; Ciganda, VS. 2018. Using highly nutritious pastures to mitigate enteric methane emissions from cattle grazing systems in South America. *Animal Production Science* 58: 2329-2334. doi:<https://doi.org/10.1071/AN16803>

Enciso, M; Gómez, C; Echevarría, M; Osorio, C; Chispana, O; Ruiz, W. 2019. Rendimiento y valor nutricional de avena asociada con vicia en condiciones altoandinas de Junín, Perú (en línea). *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible* 8(1): 53-64. Consultado 08 marzo 2021. Disponible en <https://www.camjol.info/index.php/PAyDS>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (en línea). Roma, Italia, FAO. 214 p. Consultado 08 marzo 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i6030s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) (en línea). Roma, Italia, FAO. Consultado 07 agosto 2021. Disponible en <http://www.fao.org/gleam/results/es/>

Ferris, CP; Jiao, HP; Murray S; Gorson, A; Laidlaw, S. 2020. Effect of dairy cow genotype and concentrate feed level on cow performance and enteric methane emissions during grazing. *Agricultural and Food Science* 29(2): 130-138. doi:<https://doi.org/10.23986/afsci.83442>

Flores, ER. 1983. Applying the Concept of Feeding Stations to the Behavior of Cattle Grazing Variable Amounts of Available Forage (en línea). Master of Science in Range

Science. Utah, USA, Utah State University. 67 p. Disponible en <https://digitalcommons.usu.edu/etd/3516>

Flores, E; Cruz, JC; Ñaupari, J. 2006. Comportamiento Nutricional, Perfil Alimentario y Economía de la Producción Lechera en Praderas Cultivadas en Secano: Caso Pasco. Reporte Científico. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 18 p. Consultado 08 marzo 2021. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/33552327>

Flores, M; Sánchez, R; Echevarría, F; Gutiérrez, R; Rosales, C; Salinas, H. 2016. Producción y calidad de forraje en mezclas de veza común con cenada, avena y tricale en cuatro etapas fenológicas. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 7(3): 275-291. Consultado 08 marzo 2021. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242016000300275](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242016000300275)

Florián Lescano, RR. 2019. Efecto de la fertilización, resiembra y frecuencia de pastoreo sobre el rendimiento, composición florística y química de la asociación rye grass - trébol blanco, en dos pisos altitudinales de Cajamarca (en línea). Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 109 p. Consultado 09 marzo 2021. Disponible en <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3295>

Forbes, JM. 1986. The voluntary food intake of farm animals. Butterworths, Boston, London. 206 p. Includes index. Bibliography: 171-201 ISBN 0408111542.

Gamboa, C y Mercado, W. 2015. Comercialización de la leche en la provincia de Concepción, Valle del Mantaro, Junín-Perú. Anales Científicos 76(2): 225-236. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i2.785>

Gerber, PJ; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Falcucci, A; Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities (en línea). Food and Agriculture Organization of the

United Nations (FAO), Rome. Consultado 07 agosto 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>

Glindemann, T; Wang, C; Tas, B; Schiborra, A; Gierus, M; Taube, F; Susenbeth, A. 2009. Impact of grazing intensity on herbage intake, composition, and digestibility and on live weight gain of sheep on the Inner Mongolian steppe. *Livestock Science* 124(1-3): 142-147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.01.007>

Gómez Bravo , C; Fernández Curi, M. 2009. Análisis comparativo de las emisiones de metano y efecto del cambio climático sobre la ganadería en el Perú. SEPIA XIII, Cuzco.

Goopy, Jp; Chang, C; Tomkins, N. 2016. A Comparison of Methodologies for Measuring Methane Emissions from Ruminants (en línea). In: Rosenstock T; Rufino M; Butterbach-Bahl; Wollenberg L; Richard M (eds). *Methods for Measuring Greenhouse Gas Balances and Evaluating Mitigation Options in Smallholder Agriculture*. p. 97-117. Consultado 09 marzo 2021. doi:10.1007/978-3-319-29794-1\_5

Grainger, C; Clarke, T; McGinn, SM; Auldist, MJ; Beauchemin, KA; Hannah, MC; Waghorn, GC; Clark, H; Eckard, RJ. 2007. Methane Emissions from Dairy Cows Measured Using the Sulfur Hexafluoride (SF<sub>6</sub>) Tracer and Chamber Techniques. *Journal of Dairy Science* 90(6): 2755-2766. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-697>

Greenty, KG y Rattray, PV. 1987. Energy Requirements of Grazing Sheep and Cattle. In: Nicol, AM (ed.). *Livestock Feeding on Pasture*. Occasional Publication No 10. New Zealand, New Zealand Society of Animal Production (NZSAP). p. 39-54.

Gutiérrez-Arce, F y Rojas-Vásquez, Z. 2016. Gas metano en la producción ganadera y su contribución al calentamiento global (en línea). *Ecoscienza* 2(2): 26-35. Consultado 09 marzo 2021. Disponible en <http://revistas.upagu.edu.pe/index.php/ES/article/view/354>

Hammond, K; Hoskin, S; Burke, J; Waghorn, G; Koolgaard, J; Muetzel, S. 2011. Effects of feedid fresh white clover (*Trifolium repens*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) on enteric methane emissions from sheep. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 398-404. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.028>

Harper, L., Denmead, O., Freney, J., & Byres, F. 1999. Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 77(6): 1392-1401. doi: 10.2527/1999.7761392x

Hristov, AN; Kebreab, E; Niu, M; Oh, J; Bannink, A; Bayat, AR; Boland, TM; Brito, AF; Casper, DP; Crompton, LA; Dijkstra, J; Eugene, M; Garnsworthy, PC; Haque, N; Hellwing, ALF; Huhtanen, P; Kreuzer, M; Kuhla, B; Lund, P; Madsen, J; Martin, C; Moate, PJ; Muetzel, S; Muñoz, C; Peiren, N; Powell, JM; Reynolds, CK; Schwarm, A; Shingfield, KJ; Storlien, TM; Weisbjerg, MR; Yáñez-Ruiz, DR; Yu, Z. 2018. Symposium review: Uncertainties in enteric methane inventories, measurement techniques, and prediction models. *Journal of Dairy Science* 101(7): 6655-6674. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13536>

IPCC ( Intergovernmental Panel on Climate Change). 2019. Emissions from livestock and manure management (en línea). En Gavrilova, O; Leip, A; Dong, H; Douglas, JM; Gomez Bravo, CA; Amon, B; Barahona Rosales, R; Del Prado, A; Aparecida de Lima, M; Oyhantcabal, W; Van der Weerden, TJ; Widiawati, Y. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Ginebra, Suiza, IPCC. Vol. 4 p. 10 – 48. Consultado 14 marzo 2021. Disponible en [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf)

IPCC ( Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emission from Livestock and manure Management. Consultado 01 Agosto 2021. Disponible en [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_10\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf)

Jackson, RB; Saunois, M; Bousquet, P; Canadell, JG; Poulter, B; Stavert, AR; Bergamaschi, P; Niwa, Y; Segers, A; Tsuruta, A. 2020. Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources. *Environmental Research Letters* 15(7). doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9ed2>

Jiménez, LE; Hernandez A, X; Benaouda, M; Osorio A, J; Corona, L; Castillo-Gallegos, E; Alonso, O; Ortega, C; Gonzalez-Ronquillo, M. 2021. Concentrate supplementation on milk yield, methane and CO<sub>2</sub> production in crossbred dairy cows grazing in tropical climate regions. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology* 9(2): 1-8. doi: <http://dx.doi.org/10.31893/jabb.21018>

Johnson, K y Johnson, D. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73(8): 2483-2492. doi:<https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>

Johnson, K; Huyler, M; Westberg, H; Lamb, B; Zimmerman, P. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using SF<sub>6</sub> tracer technique. *Environmental Science Technology* 28(2): 359-362. doi: <https://doi.org/10.1021/es00051a025>

Jonker, A; Molano, G; Koolaard, J; Muetzel, S. 2017. Methane emissions from lactating and non-lactating dairy cows and growing cattle fed fresh pasture. *Animal Production Science*, 57(4), 643-648. doi:<https://doi.org/10.1071/AN15656>

Langlands, J. 1974. Studies on the nutritive value of diet selected by grazing sheep VII. A note on hand plucking as a technique for estimating dietary composition. *Animal Science* 19(2): 249-252. doi:<https://doi.org/10.1017/S0003356100022807>

Lassey, KR. 2008. Livestock methane emission and its perspective in the global methane cycle. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48(2): 114-118. doi: <https://doi.org/10.1071/EA07220>

Lee, JM; Woodward, SL; Waghorn, GC; Clark, DA. 2004. Methane emissions by dairy cows fed increasing proportions of white clover (*Trifolium repens*) in pasture. *Proceeding of New Zealand Grassland Association* 66: 151-155. doi: 10.33584/jnzg.2004.66.2552

Lovett, DK; Stack, LJ; Lovell, S; Callam, J; Flynn, B; Hawkins, M; O'Mara, FP. 2005. Manipulating Enteric Methane Emissions and Animal Performance of Late-Lactation Dairy Cows through Concentrate Supplementation at Pasture. *Journal of Dairy Science* 88(8): 2836-2842. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72964-7

Loza, C; Reinsch, T; Loges, R; Taube, F; Gere, JI; Klub, C; Hasler, M; Malish, CS. 2021. Methane Emission and Milk Production from Jersey Cows Grazing Perennial Ryegrass–White Clover and Multispecies Forage Mixtures. *Agriculture* 11(2): 175. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture11020175>

Lukas, M; Sudekum, K-H; Rave, G; Friedel, K; Susenbeth, A. 2005. Relationship between fecal crude protein concentration and diet organic matter digestibility in cattle. *Journal of Animal Science* 83(6): 1332-1344. doi: <https://doi.org/10.2527/2005.8361332x>

Marin, G. 2013. Estimación del inventario de emisiones de metano entérico de ganado lechero en el departamento de Antioquia, Colombia. Tesis para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias, Colombia, Universidad Nacional de Colombia Medellín. 115 p.

Martin C, NY; Rojas, G; Arenas, NE; Herrera-Franco, V. 2017. Alternativas nutricionales para disminuir emisiones de gas metano por bovinos y su efecto en el calentamiento global. *Ciencias Agropecuarias*, 3(1), 8-17. Obtenido de [http://revistas.ucundinamarca.edu.co/index.php/Ciencias\\_agropecuarias/article/view/216/1](http://revistas.ucundinamarca.edu.co/index.php/Ciencias_agropecuarias/article/view/216/1)

21

Martin, C; Morgavi, DP; Doreau, M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 4(3): 351-365. doi:10.1017/S1751731109990620

Medrano, J. 2019. Emisión de metano entérico de vacas en lactación en pastizales altoandinos en estación lluviosa y seca. Tesis para optar el grado de Magíster Science en Nutrición. Lima, Peru, Universidad Nacional Agraria La Molina. 86 p.

Methol, M. 2005. Emisión de metano en sistemas pastoriles de producción ganadera (en línea). Uruguay, Proyecto INIA. Consultado 18 marzo 2021. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4922/1/METHOL-M.-2005.-Emision-de-metano.pdf>

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2017. Estudio de la Ganadería Lechera en el Perú: Análisis de su Estructura, Dinámica y Propuestas de Desarrollo (en línea). Consultado 09 agosto 2021. Disponible en <https://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2018?download=13414:ganaderia-lechera-en-el-peru-2017>

MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático: El Perú y el Cambio Climático (en línea). Consultado 18 marzo 2021. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicaci%C3%B3n.pdf>

MINAM (Ministerio del ambiente). 2018. Ley Marco sobre Cambio Climático (en línea). Lima, Perú, MINAM. 114 p. Consultado 12 setiembre 2021. Disponible en <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/ley-marco-cambio-climatico>

MINAM (Ministerio del Ambiente). 2021. INGEI 2016: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2016 y actualización de las estimaciones de los años 2000, 2005, 2010, 2012 y 2014 (en línea). Lima, Perú, MINAM. 478 p. Consultado 12 setiembre 2021.

Disponible en <https://infocarbono.minam.gob.pe/annios-inventarios-nacionales-gei/ingei-2016/>

Moate, PJ; Deighton, MH; Jacobs, J; Ribaux, BE; Morris, GL; Hannah, MC; Mapleson, D; Islam, MS; Wales, WJ; Williams, SRO. 2020. Influence of proportion of wheat in a pasture-based diet on milk yield, methane emissions, methane yield, and ruminal protozoa of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 103(3): 2373-2386. doi: 10.3168/jds.2019-17514

Montenegro-Ballesteros, J; Barrantes-Guevara, E; Ivankovich-Cruz, S. 2019. Cuantificación de metano entérico según estado fisiológico en vacas lecheras de alta producción en costa rica (en línea). *Agronomía Costarricense* 1(44): 79-92. Consultado 07 febrero 2021. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/40003/40546>

Montoya, Q. 2017. Características agronómicas y valor nutricional de 7 cultivos forrajeros bajo secano en la sierra central. Tesis de Ingeniero zootecnista. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. 99 p.

Morrison, S; McBride, J; Gordon, A; Wylie, A; Yan, T. 2017. Methane Emissions from Grazing Holstein-Friesian Heifers at Different Ages Estimated Using the Sulfur Hexafluoride Tracer Technique. *Engineering* 3(5): 753-759. doi: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.018>

MoscOSO, JE; Franco, F; San Martín, F; Olazábal, J; Chino, LB; Pinares-Patiño, C. 2017. Producción de metano en vacunos al pastoreo suplementados con ensilado, concentrado y taninos en el Altiplano Peruano en época seca. *Revista de investigación Veterinaria Perú* 28(4): 822-833. doi:<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13887>

Muñoz, C; Herrera, D; Hube, S; Morales, J; Ungerfeld, E. 2018. Effects of dietary concentrate supplementation on enteric methane emissions and performance of late lactation

dairy cows. Chilean journal of Agricultural Research 78(3): 429-437. doi: 10.4067/S0718-58392018000300429

Muñoz, C; Letelier, PA; Ungerfeld, EM; Morales, JM; Hube, S; Pérez-Prieto, LA. 2016. Effects of pregrazing herbage mass in late spring on enteric methane emissions, dry matter intake, and milk production of dairy cows. Journal of Dairy Science 99(10): 7945-7955. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10919>

Murray, RM; Bryant, AM; Leng, RA. 1978. Methane production in the rumen and lower gut of sheep given lucerne chaff: effect of level of intake (en línea). British Journal of Nutrition 39(1): 337-345. Consultado 18 marzo 2021. Disponible en <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/F68A287BEA8D304CC38605469AB2CB70/S0007114578001257a.pdf/div-class-title-methane-production-in-the-rumen-and-lower-gut-of-sheep-given-lucerne-chaff-effect-of-level-of-intake-div.pdf>

Myers, W; Ludden, P; Nayigihugu, V; Hess, B. 2006. Excretion patterns of titanium dioxide and chromic oxide in duodenal digesta and feces of ewes. Small Ruminant Research 63(1-2): 135-141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.02.010>

Myers, W; Ludden, P; Nayigihugu, V; Hess, B. 2004. Technical note: a procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. Journal of Animal Science 82(1): 179-183. doi: 10.2527/2004.821179x

Niu, M; Kebreab, E; Hristov, A; Oh, J; Arndt, C; Bannink, A; Bayat, B; Brito, A; Boland, T; Casper, D; Crompton, L; Dijkstra, J; Eugène, M; Garnsworthy, P; Haque, M; Hellwing, A; Huhtanen, P; Kreuzer, M; Kuhla, B; Lund, P; Madsen, J; Martin, C; McClelland, S; McGee, M; Moate, P; Muetzel, S; Muñoz, C; O'Kiely, P; Peiren, N; Reynolds, C; Schwarm, A; Shingfield, K; Storlien, T; Weisbjerg, M; Yáñez-Ruiz, D; Yu, Z. 2018. Prediction of

enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Global Change Biology* 24(8): 3368-2289. doi:<https://doi.org/10.1111/gcb.14094>

Parker, W. 1951. A method for measuring trend in range condition for national forest rangers. Washington D.C: Forest service, U.S. Department of Agriculture. 35 p.

Pedreira, M; Primavesi, O; Lima, M; Frighetto, R; De Oliveira, S; Berchielli, T. 2009. Ruminant methane emission by dairy cattle in southeast Brazil. *Scientia Agricola* 66(6): 742-750. doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600004>

Pinares-Patiño, C; Hour, P; Jouany, J; Martin, C. 2007. Effects of stock rate on methane and carbon dioxide emissions from grazing cattle. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 121(1-2): 30-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.024>

Pinares-Patiño, C; Baumont, R; Martin, C. 2003a. Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Canadian Journal of Animal Science*. 83(4): 769-777. doi: <https://doi.org/10.4141/A03-034>

Pinares-Patiño, C; Ulyatt, M; Lassey, K; Barry, T; Holmes, C. 2003b. Rumen function and digestion parameters associated with differences between sheep in methane emissions when fed chaffed lucerne hay. *The Journal of Agricultural Science* 140(2): 205-214. doi: <https://doi.org/10.1017/S0021859603003046>

Preston, TR y Leng, RA. 1987. Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and sub-tropics. Armidale, Australia, FAO: Prenambul Books.

Primavesi, O; Shiraishi, FT; Pedreira, MS; de Lima, MA; Berchielli, T; Barbosa, PF. 2004. Metano entérico de bovinos leiteiros en condições tropicais brasileiras. Pesquisa Agropecuária Brasileira 39(3): 277-283. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300011>

Rodríguez, M y Mance, H. 2009. Cambio climático: lo que está en juego. 1a ed. Bogota: Library of the Friedrich-Ebert-Stiftung. (en línea). Consultado 07 febrero 2021. Disponible en <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/07216.pdf>

Sampaio, CB; Detmann, E; Valente, TNP; Souza, MA; Valadares-Filho, S; Paulino, MF. 2011. Evaluation of fecal recovering and long-term bias of internal and external markers in a digestion assay with cattle. Revista Brasileira de Zootecnia 40(1): 174-182. doi: 10.1590/S1516-35982011000100025

Saunio, M; Stavert, A; Poulter, B; Bousquet, P; Canadell, LJ; Jackson, R; Raymond, P; Dlugokencky, E; Houweling, S; Patra, P; Ciais, P; Arora, V; Bastviken, D; Bergamaschi, P; Blake, D; Brailsford, G; Bruhwiler, L; Carlson, K; Carrol, M; Castaldi, S; Chandra, N; Crevoisier, C; Crill, P; Covey, K; Curry, C; Etiope, G; Frankenberg, C; Gedney, N; Hegglin, M; Höglund-Isaksson, L; Hugelius, G; Ishizawa, M; Ito, A; Janssens-Maenhout, G; Jensen, K; Joos, F; Kleinen, T; Krummel, P; Langenfelds, R; Laruelle, G; Liu, L; Machida, T; Maksyutov, S; McDonald, K; McNorton, J; Miller, P; Melton, J; Morino, I; Müller, J; Murguia-Flores, F; Naik, V; Niwa, Y; Noce, S; O'Doherty, S; Parker, R; Peng, C; Peng, S; Peters, G; Prigent, C; Prinn, R; Ramonet, M; Regnier, P; Riley, W; Rosentreter, J; Segers, A; Simpson, I; Shi, H; Smith, S; Steele, L; Thornton, B; Tian, H; Tohjima, Y; Tubiello, F; Tsuruta, A; Viovy, N; Voulgarakis, A; Weber, T; van Weele, M; van der Werf, G; Weiss, R; Worthy, D; Wunch, D; Yin, Y; Yoshida, Y; Zhang, W; Zhang, Z; Zhao, Y; Zheng, B; Zhu, Q; Zhu, Q; Zhuang, Q. 2020. The Global Methane Budget 2000–

2017. Earth System Science Data 12(3): 1561-1623. doi:<https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>

Shimada. 2015. Nutrición de Bovinos. En Nutrición Animal. DF, Mexico, Trillas. p. 67-105.

Sjaunja, LO; Baevre, L; Junkkarinen, L; Pedersen, J; Setala, J. 1990. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. Paris, France: Proceedings of the 27th biennial session of the International Committee for Animal Recording (ICAR). 156-157 p.

Smith, A y Reid, J. 1954. Use of chromic oxide as an indicator of fecal output for the purpose of determining the intake of pasture herbage by grazing cows. Journal of Dairy Science 38(5): 515-524. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(55\)95006-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(55)95006-2)

Storm, IM; Hellwing, AL; Nielsen, NI; Madsen, J. 2012. Methods for Measuring and Estimating Methane Emission from Ruminants. Animals 2(2): 160-183. doi:<http://doi.org/10.3390/ani2020160>

Van Soest, PJ; Robertson, JB; Lewis, BA. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. Journal of Dairy Science 74(10): 3583-3597. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

Van Wyngaard, JV; Meeske, R; Erasmus, LJ. 2018. Effect of concentrate level on enteric methane emissions production performance and rumen fermentation of Jersey cows grazing kikuyo-dominant pasture during summer. Journal Dairy Science 101(11): 9954-9966. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14327>

Vlaming, J; Lopez-Villalobos, N; Brookes, I; Hoskin, S; Clark, H. 2008. Within- and between-animal variance in methane emissions in non-lactating dairy cows. Australian Journal of Experimental Agriculture 48(2): 124-127. doi: <https://doi.org/10.1071/EA07278>

Waghorn, G y Woodward, S. 2006. Ruminant contributions to methane and global warming - a New Zealand perspective. En: Climate Change and Managed Ecosystems. Florida: CRC Press, Boca Raton. p 233-260. doi: 10.1201/9781420037791.ch12

Williams, S; Moate, P; Hannah, M; Ribaux, B; Wales, W; Eckard, R. 2011. Background matters with the SF6 tracer method for estimating enteric methane emissions from dairy cows: a critical evaluation of the SF6 procedure. Animal Feed Science Technology. 170(3-4): 265-276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.08.013>.

Wolin, MJ. 1981. Fermentation in the Rumen and Human Large Intestine. Science 213: 1463-1468. doi: 10.1126/science.7280665

Zuñiga, N. 2016. Estimación de las emisiones en bovinos en Iso sistemas de producción lechera en pequeña escala a través del factor de conversión de metano. Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. El Cerrillo Piedras Blancas Toluca, Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de Mexico. 203 p.

## VIII. ANEXOS

Anexo I. Factores de emisión utilizados en el Tier I de la IPCC

<u>Ganado</u>	<u>Sistema productivo alta producción (FE)</u>	<u>Sistema productivo baja producción (FE)</u>	<u>Peso</u>
Oveja	9	5	40 kg – sistema productivo alto 31 kg – sistema productivo bajo
Cabra	9	5	50 kg – sistema productivo alto 28 kg – sistema productivo bajo
Llamas y alpacas	8		65 kg
<u>Características regionales</u>	<u>Categoría animal</u>	<u>Factor emisión-FE (kgCH<sub>4</sub>/animal/año)</u>	<u>Comentario</u>
América latina Vacunos: sector basado en pastoreo. Ganado separado con pasturas cultivadas y naturales. Menor predominancia de alimentación estabulada con granos. Gran parte de la población está comprendida de vacas en crecimiento no lactantes.	Vacunos de leche	87	Promedio de producción de leche: 2 050 kg/animal/año.
	Sistema productivo alto	103	Promedio de producción de leche: 2 050 kg/animal/año.
	Sistema productivo bajo	78	Promedio de producción de leche: 2 050 kg/animal/año.
	Otros vacunos	56	Incluye hembras y machos maduros, animales en crecimiento, terneros.
	Sistema productivo alto	55	
	Sistema productivo bajo	68	

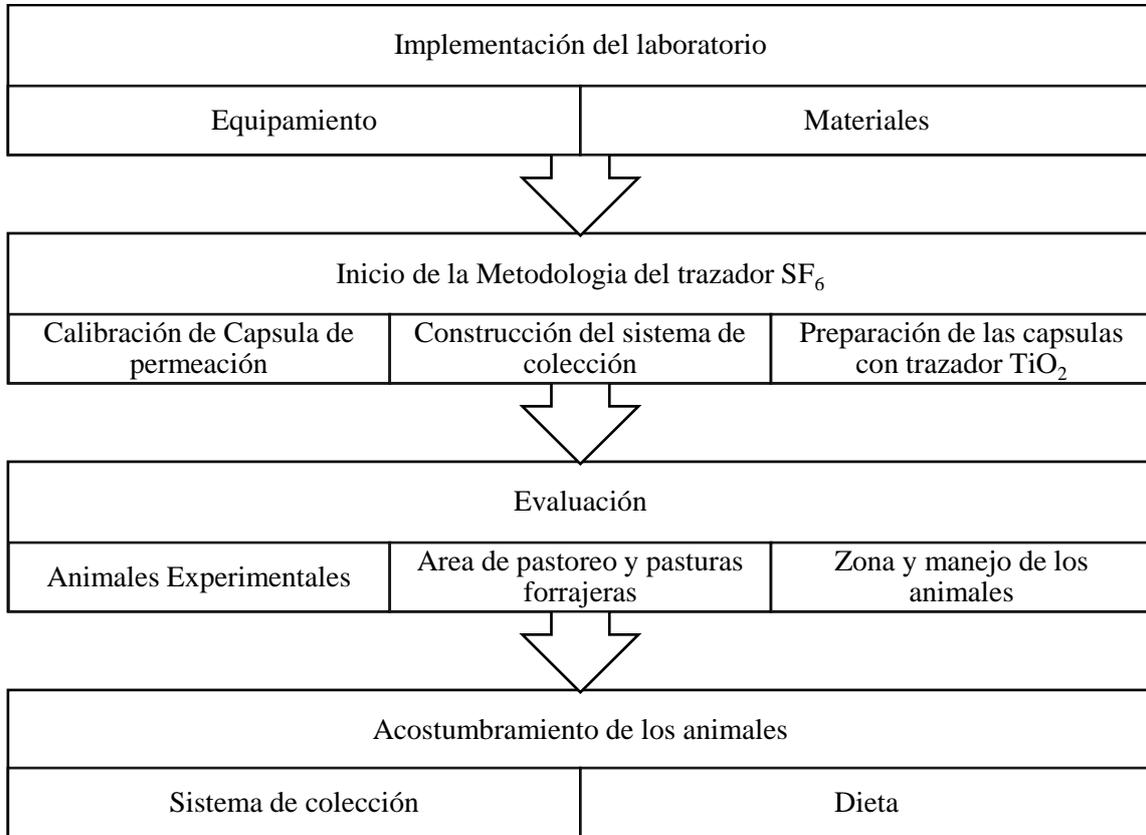
Fuente: Adaptado de IPCC (2019).

Anexo II. Características de los animales experimentales.

Vaca	Fecha de nacimiento	Edad (años)	N° Partos	Días de lactación	Estado de Preñez	Peso pre experimental (kg)	Peso Vivo inicial (kg)	Peso vivo Final (kg)	Producción de leche diaria	LCE <sup>1</sup>
NURIA	3/07/2012	7	2	97	Vacía	520	528	530	10.2	12.15
CATA	2/10/2014	5	2	985	Preñada	520	616	620	2.0	2.53
MARIEM	10/06/2013	6	2	98	Vacía	496	528	530	9.4	10.85
JASMIN	30/01/2014	5	2	532	Vacía	595	466	472	1.2	1.18
MU	29/11/2012	7	3	100	Vacía	565	511	520	5.9	7.04
INCAICA	15/10/2012	7	3	-	Vacía	541	541	545	-	
NUBE	11/06/2013	6	2	-	Vacía	541	589	591	-	
TALI	19/04/2013	6	2	-	Vacía	629	541	541	-	
DAYANA	2/10/2008	11	2	-	Preñada	678	560	560	-	
KARLITA	19/04/2013	6	2	-	Preñada	591	579	610	-	
MUÑA	22/05/2012	7	3	-	Vacía	560	616	650	-	

<sup>1</sup>LCE: Leche corregida a energía según Sjaunja(1990)

Anexo III. Cronología de la etapa previa a la evaluación.



## Anexo IV. Proceso diario de la etapa de evaluación.

### Cánisters(B)

- Laboratorio: vacío de cánisters de 4:00 am a 5:30 am
- Establo: Medición de presión de 5:30 am a 6:00 am
- Presión de inicio vario de ~ 670 mbar a ~ 692 mbar (presión diferencial)
- Cantidad: 15 ; 13 se usaban y 2 se devolvían al laboratorio. (Aleatorio)
- Conexión de cánister de 6:00 am a 7:00 am

### Cánisters(A)

- Establo: Desconexión de cánisters y medición de presión final de 5:30 am a 6:00 am , el llenado diario variaba entre 38 a 50.6% de su capacidad.
- Laboratorio: Prezurizar con nitrógeno de 8:30 a 10:30 am (de 1 a 2 horas) se obtenían presiones de 310 mbar a 380 mbar (presión diferencial)
- Luego del submuestreo, Limpieza de cánisters con Nitrógeno de alta pureza por 3 veces con espacios de tiempo de 10 min para sacar residuos de muestra anterior.

### Marcador Dioxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)

- Dosificación de los animales de 6:00 am a 7:00 am y de 18:00 pm a 19:00 pm.

### Muestreo de Heces

- La recolección de heces se hizo según plan agropecuario propuesto por Betina Cópola 2019.
- Se ingresó al recto para sacar aproximadamente 75 gr de heces.
- El procedimiento se realizaba después de la dosis de TiO<sub>2</sub> de 6:00 a 7:00 am y de 18:00 pm a 19:00 pm

### Forraje al corte

- Se pesó la cantidad que se le otorgaba a cada animal experimental
- Se muestreo 2kg de forraje de todo el alimento
- Establo: De 6:00 am a 7:00 am y de 17:00 pm a 18:00 pm

### Pastoreo

- Colocación de cánister (B) ambiental y retiro de cánister (A) de 10:00 am a 10:30 am.
- Disponibilidad y caracterización de pastos
- Simulación Manual
- Campo: 10:00 am a 15:00 pm

### Muestreo de leche

- Sala de ordeño: A los animales experimentales que se encontraban en la etapa de lactación se colectó 50ml de leche de 8:00 am a 9:00 am y de 15:00 pm a 16:00 pm.

### Submuestreo

- Se realizaba el vacío a los viales de 20 ml (total en el experimento: 400 viales)
- Se realizaba el submuestreo de 11:00 am a 13:00 pm

\*(A)Cánister puesto el día anterior (B) Cánister nuevo.

Anexo V. Características de las capsulas de permeación seleccionadas.

N° Tubo de Permeación	Carga de SF <sub>6</sub> (mg)	Tasa de Permeación (mg/d)	R <sup>2</sup>
37	2352.9	7.88	1.0000
38	2228.6	6.77	1.0000
42	2401.4	5.85	1.0000
43	2206.6	7.52	1.0000
45	2260.8	6.28	1.0000
46	2217.5	7.77	1.0000
47	2225.5	7.98	0.9998
48	2344.0	7.16	1.0000
49	2258.0	8.49	1.0000
51	2247.8	7.74	1.0000
53	2196.5	7.18	1.0000

Anexo VI. Materiales y Equipos para la implementación del sistema de colección.

Elaboración de Cánisters	Adecuar equipos y materiales para el sistema de colección	Elaboración de las líneas de flujo	Prueba de vacío al sistema de colección, crimpado y vacío de viales para submuestreo
Base enchufe rápido de instrumentación de bronce, Cv 0.2, ¼ pulg. NPT hembra. (Código: B-QC4-B-4PF, Marca: Swagelok®).	Abrazaderas para manguera para gas de ¼"	Balón de nitrógeno UHP	Acoples de latón hembra de bronce para gases ½"
Codo de 90°, 2" SP 60mm PVC-U (Marca PAVCO).	Manguera de Silicona rígida de ¼".	Bomba de vacío CPS, modelo VP12D	Tapas de aluminio y septas de butilo para viales
Codo macho de bronce, ¼" NPT macho. (Código: B-4-ME, Marca: Swagelok®).	Manguera negra para gas ¼"	Cánister de calibración y Tornillo de banco.	Aguja de 23G x 1"
Cortadora y Tronzadora	Materiales Marca Swagelok®: Férulas de latón ¼"; Conector macho o Espiga enchufe rápido	Flujómetro adecuado para el sistema (con entrada y salida para que ingrese el aire)	Base enchufe rápido de instrumentación de bronce hembra ½", Marca Swagelok.
Pegamento azul para PVC.			Línea de flujo de submuestreo: Conector macho ¼ y Unión de ¼ Swagelok y Manguera de ¼
Tapones 2" PVC – C 10 S/P.			Bomba de vacío CPS, modelo VP12D
Tubos de PVC-U PRESION 50 mm, 2", PN 10 Rosca NTP (Marca PAVCO).			
Macho/fresa de roscar (para hacer hilo) ¼ - 18. Marca: Black Cross.		Herramientas manuales: Lima para afinar o pulir metal, Alicata plano, Llave francesa de 6, 8 y 10 pulgadas.	Crimpador Perkin Elmer automático con potencia de entre 75 a 80. Manguera de silicona de 5 mm de diámetro interno
Material de bioseguridad: Mameluco impermeable, Lentes de protección, mascarillas con tres filtros, guantes de pintura, Botas de jebe.		Manguera de Nylon 1/8" de 1 a 1.5 metros dependiendo el cuello del animal.	Codo de bronce ½"
			Llaves de 3 vías
			Jeringa de 50 ml
			Teflón para gases
Material descartable para limpieza: Trapos para sacar el excedente de pegamento y Brocha la limpieza de las partes del cánister.		Materiales Marca Swagelok®: Férulas de latón 1/8"; Conector macho o Espiga enchufe rápido de 1/8"; Filtros de línea de latón 1/8.	Válvula esférica para gas con agarradera ½"
			Viales de Cromatografía Perkin Elmer de 22 ml
			Tubos niple de bronce ½"
			Tubos de bronce en T ½"
Teflón en rollo de ½" x 7.32MT. (Código: MS-STR-8, Marca: Swagelok®).		Tubos capilares de 1/16" (OD) × 0.005" (ID).	

Anexo VII. Energía Metabolizable y Consumo de materia seca mediante marcador TiO<sub>2</sub>.

Animales	Concentración del Ti (g Ti/g MO heces)	Digestibilidad MO (gr/kg MS)	Energía Metabolizable (MJ/kg MS)	Consumo de MS
L1	0.002632	638.49	9.75	12.1
L2	0.002664	630.47	9.64	11.7
L3	0.002547	645.19	9.84	12.7
L4	0.002508	648.20	9.89	13.0
L5	0.002295	629.47	9.62	13.5
S1	0.002563	650.49	9.92	12.8
S2	0.002784	626.21	9.85	11.6
S3	0.002796	642.32	9.80	11.5
S4	0.002893	664.90	10.12	11.9
S5	0.002673	619.29	9.48	11.3
S6	0.002755	634.22	9.69	11.4

Anexo VIII. Emisión de metano entérico diarios I.

gCH <sub>4</sub> /d		gCH <sub>4</sub> /CMS				gCH <sub>4</sub> /CMO					
Vacas Lactantes	Vacas Secas	Vacas Lactantes	Vacas Secas	Vacas Lactantes	Vacas Secas	Vacas Lactantes	Vacas Secas	Vacas Lactantes	Vacas Secas		
346.7	375.6	384.7	363.6	29.2	30.2	30.7	31.2	32.2	33.1	33.6	34.4
355.4	369.9	297.5	330.7	30.0	29.8	23.8	28.4	33.0	32.6	26.0	31.3
364.8	383.8	377.7	379.0	30.8	30.9	30.2	32.5	33.8	33.8	33.0	35.8
377.8	356.7	337.5	356.7	31.9	28.7	26.9	30.6	35.0	31.4	29.5	33.7
376.3	367.0	376.3	375.4	31.7	28.9	30.0	32.2	34.9	31.6	32.9	35.5
362.6	330.7	390.6	346.7	30.6	26.0	31.2	29.7	33.6	28.4	34.1	32.8
377.5	345.1	332.3	376.1	31.8	27.2	26.5	32.3	35.0	29.7	29.0	35.5
365.9	373.9	339.5	344.3	30.9	29.4	27.1	29.5	33.9	32.2	29.6	32.5
365.9	349.7	363.3	369.3	30.9	27.5	29.0	31.7	33.9	30.1	31.7	34.9
342.9	325.9	305.3	306.3	29.8	25.7	26.6	27.5	32.9	28.0	29.4	30.4
341.6	356.9	323.6	265.1	29.7	28.1	28.2	23.8	32.8	30.7	31.2	26.3
336.5	354.8	363.6	335.5	29.3	27.9	31.7	30.1	32.3	30.5	35.0	33.3
376.9	375.4	348.4	307.8	32.8	29.6	30.4	27.6	36.2	32.3	33.5	30.5
344.4	269.6	388.3	311.0	30.0	22.1	33.9	27.9	33.1	22.4	37.4	30.9
332.4	324.7	332.3	315.3	28.9	26.7	29.0	28.3	31.9	26.9	32.0	31.3
349.6	286.4	371.0	306.0	30.4	23.5	32.4	27.4	33.6	23.7	35.7	30.4
314.1	298.8	308.1	339.6	27.3	24.5	26.9	30.5	30.1	24.8	29.7	33.7
311.1	298.1	339.3	342.7	27.1	24.5	29.6	30.7	29.9	24.7	32.7	34.0
375.0	310.5	337.8	319.0	30.2	25.5	29.8	29.0	33.0	25.8	32.9	31.3
387.4	292.8	314.9	347.5	31.2	24.0	27.8	31.6	34.1	24.3	30.7	34.1
375.3	275.1	326.0	328.8	30.2	22.6	28.8	29.9	33.1	22.8	31.8	32.3
379.5	296.8	367.1	299.7	30.5	24.4	32.4	27.3	33.4	24.6	35.8	29.5
380.6		325.1	289.6	30.6		28.7	26.3	33.5		31.7	28.5
		321.8	359.2			28.4	32.7			31.4	35.3
		315.4	332.0			27.8	30.2			30.8	32.6
		331.0	291.8			29.2	26.5			32.3	28.7
		331.4	332.8			29.3	30.3			32.3	32.7

Anexo IX. Emisión de metano entérico diarios II.

gCH <sub>4</sub> /kgPV <sup>0.75</sup>				gCH <sub>4</sub> /CFDN				YM, %			
Vacas Lactantes		Vacas Secas		Vacas Lactantes		Vacas Secas		Vacas Lactantes		Vacas Secas	
3.1	3.4	3.4	3.2	69.0	78.4	81.0	71.2	9.8	10.1	10.3	10.5
3.2	3.3	2.6	2.9	70.8	77.2	62.6	64.8	10.1	10.0	8.0	9.5
3.3	3.5	3.3	3.3	72.6	80.1	79.5	74.2	10.3	10.4	10.1	10.9
3.4	3.2	3.0	3.1	75.2	74.5	71.0	69.8	10.7	9.6	9.0	10.3
3.4	3.6	3.3	3.3	74.9	78.3	79.2	73.5	10.7	9.7	10.1	10.8
3.3	3.3	3.5	3.0	72.2	70.5	82.2	67.9	10.3	8.7	10.5	10.0
3.4	3.4	2.9	3.3	75.2	73.6	69.9	73.6	10.7	9.1	8.9	10.8
3.3	3.7	3.0	3.0	72.9	79.8	71.4	67.4	10.4	9.9	9.1	9.9
3.3	3.5	3.2	3.2	72.9	74.6	76.5	72.3	10.4	9.2	9.7	10.6
2.8	3.2	2.5	2.5	66.2	69.5	58.8	57.4	10.0	8.6	8.9	9.2
2.7	3.5	2.7	2.2	66.0	76.1	62.3	49.7	10.0	9.4	9.5	8.0
2.7	3.5	3.0	2.7	65.0	75.7	70.0	62.9	9.8	9.4	10.6	10.1
3.0	3.7	2.9	2.5	72.8	80.1	67.1	57.7	11.0	9.9	10.2	9.3
2.8	2.5	3.2	2.5	66.5	55.2	74.8	58.3	10.1	7.4	11.4	9.4
2.7	3.0	2.8	2.6	64.2	66.4	64.0	59.1	9.7	8.9	9.7	9.5
2.8	2.6	3.1	2.5	67.5	58.6	71.4	57.3	10.2	7.9	10.9	9.2
2.5	2.7	2.6	2.8	60.6	61.1	59.3	63.6	9.2	8.2	9.0	10.2
2.5	2.7	2.8	2.8	60.1	61.0	65.3	64.2	9.1	8.2	9.9	10.3
3.4	2.9	3.0	2.5	78.3	63.5	64.3	58.9	10.1	8.6	10.0	9.7
3.5	2.7	2.8	2.7	80.9	59.9	59.9	64.2	10.5	8.1	9.3	10.6
3.4	2.5	2.9	2.6	78.3	56.3	62.1	60.8	10.1	7.6	9.7	10.0
3.4	2.7	3.3	2.3	79.2	60.7	69.9	55.4	10.2	8.2	10.9	9.1
3.4		2.9	2.2	79.4		61.9	53.5	10.3		9.6	8.8
		2.9	2.8			61.3	66.4			9.5	11.0
		2.8	2.6			60.0	61.3			9.3	10.1
		3.0	2.3			63.0	53.9			9.8	8.9
		3.0	2.6			63.1	61.5			9.8	10.2

Anexo X. Composición florística del campo de pastoreo

Especie	Familia	Deseabilidad	Tipo de planta	Frecuencia Relativa (%)
<i>Lolium perenne L.</i>	Poaceae	D	Cultivada	48.5
<i>Lolium multiflorum</i>	Poaceae	D	Cultivada	1.9
<i>Trifolium repens L.</i>	Fabacea	D	Cultivada	4.2
<i>Trifolium pratense</i>	Fabacea	D	Cultivada	0.8
<i>Medicago sativa</i>	Fabacea	D	Cultivada	2.3
<i>Medicago polymorpha</i>	Fabacea	D	Invasora	6.9
<i>Poa annua</i>	Poaceae	D	Invasora	5.3
<i>Paspalum penicillatum</i>	Poaceae	PD	Invasora	20.2
<i>Stachys arvensis (L.) L.</i>	Lamiaceae	I	Invasora	1.1
<i>Juncus bufonius L.</i>	Juncaceae	I	Invasora	1.1
<i>Taraxacum officinalis</i>	Asteraceae	PD	Invasora	5.7
<i>Gamocheata americana</i>	Asteraceae	PD	Invasora	0.8
<i>Galisonga parviflora</i>	Asteraceae	PD	Invasora	0.8
<i>Sonchus oleraceus</i>	Asteraceae	PD	Invasora	0.4

D: Deseable; PD: Poco deseable; I: Indeseable

Anexo XI. Emisión de metano por Tier II.

Vaca	GE	DE	YM, % <sup>1</sup>	EMISIÓN DE METANO Tier <sub>2</sub>	YM, % <sup>2</sup>	EMISIÓN DE METANO Tier <sub>2</sub> <sup>3</sup>
L1	276.03	63.85	6.6	325.26	10.16	503.8
L2	230.05	63.05	6.6	272.73	9.73	402.3
L3	261.21	64.52	6.5	306.23	9.91	465.3
L4	159.78	64.82	6.5	186.88	9.09	261.1
L5	231.34	62.95	6.6	274.47	7.31	304.0
S1	140.92	65.05	6.5	164.53	9.29	235.2
S2	158.47	62.62	6.6	188.48	9.86	280.7
S3	143.10	64.23	6.5	168.13	9.63	247.6
S4	151.76	66.49	6.4	175.23	10.19	277.8
S5	175.86	61.93	6.7	210.26	9.33	295.0
S6	163.98	63.42	6.6	193.85	9.48	279.2

<sup>1</sup> Ym calculado según la fórmula de FAO (2010). <sup>2</sup> Ym calculado a partir de la técnica de gas trazador SF<sub>6</sub>. <sup>3</sup> Emisión de metano usando el Ym calculado a partir de la técnica de gas trazador SF<sub>6</sub>.

Anexo XII. Consumo de materia seca para vacas lactantes según la IPCC 2019.

	PRODUCCIÓN	GRASA%	LCG	PV	CMS
L1	10.2	5	5.22	529	11.38
L2	2.02	5.1	1.7	618	11.95
L3	9.36	4.83	4.83	529	11.26
L4	1.23	3.24	1.06	469	9.00
L5	5.9	4.95	3.35	516	10.56

LCG: leche corregida a grasa 3.5%, PV: Peso vivo, CMS: Consumo de materia seca

Anexo XIII. Consumo de materia seca para vacas secas según la IPCC 2019.

Consumo de materia seca	PV	COEFICIENTE%	CMS
S1	543	1.8	9.77
S2	590	1.8	10.62
S3	541	1.8	9.74
S4	560	1.8	10.08
S5	595	1.8	10.70
S6	633	1.8	11.39

PV: Peso vivo, CMS: Consumo de materia seca

Anexo XIV. Emisión de metano entérico haciendo uso de trazador SF<sub>6</sub> y metodología Tier II (Y<sub>m</sub> calculado) por estado Fisiológico.

Estado Fisiológico		Metodología		P-valor
		SF <sub>6</sub>	Tier II <sup>2</sup>	
Lactante	gCH <sub>4</sub> /d	358.5 ± 16.1 <sup>1</sup>	387.3 ± 103.4	0.06
Seca	gCH <sub>4</sub> /d	337.4 ± 18.3	269.3 ± 24.8	0.00

<sup>1</sup>n= 4, <sup>2</sup> Y<sub>m</sub> calculado por el gas trazador SF<sub>6</sub>