

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR VACAS
LACTANTES EN DOS ÉPOCAS EN SAN PEDRO DE PILAS,
YAUYOS - PERÚ”**

Presentada por:

KARINA VANESA ALIAGA VILCHEZ

**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 GASES DE EFECTO INVERNADERO POR VACAS
LACTANTES EN DOS ÉPOCAS EN SAN PEDRO DE PILAS,
YAUYOS - PERÚ”**

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

Presentada por:

KARINA VANESA ALIAGA VILCHEZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Mariano Echevarría Rojas

PRESIDENTE

Mg.Sc. Víctor Hidalgo Lozano

ASESOR

Mg.Sc. Armando Aramayo Bazzetti

MIEMBRO

PhD. Carlos Gómez Bravo

MIEMBRO

DEDICATORIA

A mis padres Justina Vilchez y Vidal Aliaga, por su apoyo incondicional durante toda mi etapa de estudiante, fueron ellos quienes me inculcaron lo que es ser una persona íntegra, a ellos les debo todo.

A mis hermanos Evelyn y Percy, a mi amiga de toda la vida Cinthya, a ellos quiénes creyeron en mí en todo momento.

A mis amigos del folklore, quiénes por cuestiones de la vida no siguen mi línea de carrera, pero aún así siempre me dieron los ánimos necesarios.

A Esperanza, Damon y Elena, mis pequeños de cuatro patas quiénes me iluminaron en mis días más estresantes.

AGRADECIMIENTOS

Al programa de becas CIENCIACTIVA CONCYTEC, Convenio de Gestión N° 183-2015 FONDECYT por la subvención de estudios de Maestría en Nutrición de la UNALM, que se me otorgó.

A mi asesor el Ing. Victor Hidalgo por su constante apoyo y exigencia en el avance de mi tesis.

A mi comité evaluador el cuál fue conformado por el Ph.D. Mariano Echevarría Rojas cómo presidente junto a los miembros, el Mg.Sc. Armando Aramayo y el Ph.D. Carlos Gómez, a ellos agradezco me hayan direccionado de la forma correcta en la redacción de mi tesis.

Al alcalde y zootecnista del distrito de San Pedro de Pilas, el Ing. Edito Quispe por su valioso apoyo mostrándome la realidad de la zona.

Al presidente de la comunidad de San Pedro de Pilas el Sr. Amador Solis por brindarme la información necesaria para mi estudio, a la señora Cristina por su constante apoyo, al igual que la mayoría de comuneros de la zona quiénes me brindaron la facilidad de manejo de sus animales.

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|--------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. | CALENTAMIENTO GLOBAL Y GEI | 3 |
| 2.1.1. | Principales Gases de Efecto Invernadero | 4 |
| 2.2. | EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL PERÚ | 5 |
| 2.2.1. | Estudios nacionales de cuantificación de gases de efecto invernadero | 7 |
| 2.3. | GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA GANADERÍA | 8 |
| 2.4. | FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO..... | 11 |
| 2.4.1. | Factores relacionados con la dieta del animal. | 11 |
| 2.4.2. | Factores relacionados con el animal..... | 14 |
| 2.5. | ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA LA MITIGACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE GEI | 15 |
| 2.6. | METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO..... | 18 |
| 2.6.1. | Medición directa | 19 |
| 2.6.2. | Medición indirecta..... | 20 |
| 2.6.3. | Ecuaciones de predicción | 21 |
| 2.6.4. | Metodología del IPCC | 23 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS | 25 |
| 3.1. | TIPO DE INVESTIGACIÓN | 25 |
| 3.2. | LOCALIZACIÓN..... | 25 |
| 3.3. | METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO | 26 |
| 3.4. | CRITERIOS DE SELECCIÓN | 27 |
| 3.5. | RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN..... | 28 |
| 3.5.1. | Encuestas | 28 |
| 3.5.2. | Toma de muestras de pastos, heces y leche..... | 28 |
| • | Pastos..... | 28 |

| | | |
|--------|--|----|
| • | Heces | 29 |
| • | Leche | 30 |
| 3.5.3. | Análisis de laboratorio | 30 |
| • | Análisis de muestras de pastos | 30 |
| • | Análisis de muestras de heces | 31 |
| • | Análisis de muestras de leche | 31 |
| 3.6. | CUANTIFICACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO | 31 |
| 3.6.1. | Emisiones de metano | 32 |
| • | Metano por fermentación entérica..... | 32 |
| • | Emisión de metano por manejo de estiércol..... | 34 |
| 3.6.2. | Emisiones de Óxido nitroso (N ₂ O) | 34 |
| a. | Emisiones de N ₂ O derivadas de la gestión de estiércol | 34 |
| • | Emisiones directas de N ₂ O | 34 |
| • | Emisiones indirectas de N ₂ O | 35 |
| b. | Emisiones de N ₂ O derivadas del N de orina y heces depositado en pastos | 35 |
| • | Emisiones directas de N ₂ O | 36 |
| • | Emisiones indirectas de N ₂ O debido a la volatilización..... | 36 |
| • | Emisiones indirectas de N ₂ O debido a la lixiviación y escorrentía..... | 36 |
| 3.9.3. | Emisiones de GEI en términos de CO ₂ -eq | 37 |
| 3.10. | ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 37 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 39 |
| 4.1. | CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN BOVINA EN SAN PEDRO DE PILAS | 39 |
| 4.2. | CONSUMO DE ALIMENTO Y ANÁLISIS DE PASTOS, HECES Y LECHE | 40 |
| 4.2.1 | Análisis de la composición nutricional de los pastos para cada época en el distrito de San Pedro de Pilas..... | 40 |
| 4.2.2. | Producción y composición de leche | 42 |
| 4.2.3. | Análisis químico de excretas | 43 |
| 4.2.4. | Consumo de alimento | 44 |

| | |
|---|----|
| 4.3. CUANTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO..... | 45 |
| 4.3.1. Emisiones de metano (CH ₄) | 45 |
| 4.3.2. Emisiones de óxido nitroso (N ₂ O)..... | 47 |
| 4.3.3. Emisiones globales de GEI..... | 49 |
| V. CONCLUSIONES | 53 |
| VI. RECOMENDACIONES | 54 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 55 |
| VIII. ANEXOS | 73 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Estimación de la emisión de metano proveniente de fermentación entérica y manejo de estiércol..... | 10 |
| Tabla 2: Producción de leche (kg/d) y estimaciones de la producción de metano entérico (g/kg de leche) para diferente calidad de ensilados..... | 14 |
| Tabla 3: Estrategias de manejo animal que ofrecen una reducción en la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero distintas al CO ₂ | 16 |
| Tabla 4: Ecuaciones de predicción de metano desarrolladas a partir de mediciones en cámaras de respiración..... | 22 |
| Tabla 5: Días de pastoreo en pasto cultivado y natural..... | 40 |
| Tabla 6: Disponibilidad de pasto natural y cultivado durante el año..... | 40 |
| Tabla 7: Análisis proximal y digestibilidad de pastos en las épocas seca e inicios de lluvia..... | 41 |
| Tabla 8: Producción y composición de leche en vacas en lactación durante las épocas seca e inicio de lluvias..... | 43 |
| Tabla 9: Consumo en vacas en lactación durante las épocas seca e inicio de lluvias..... | 44 |
| Tabla 10: Emisión de metano en vacas en lactación durante las épocas seca e inicio de lluvias..... | 45 |
| Tabla 11: Emisión de metano en vacas en lactación durante las épocas seca e inicio de lluvias..... | 48 |
| Tabla 12: Emisión total de gases de efecto invernadero en vacas en lactación durante las épocas seca e inicio de lluvias..... | 49 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Emisiones de GEI en el Perú en el sector agricultura a través de los años..... | 6 |
| Figura 2: Emisiones globales de las cadenas de suministros ganaderos por categorías de emisión. | 9 |
| Figura 3: Mapa de la provincia de Yauyos y el distrito de San Pedro de Pilas | 26 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1: Base de datos de peso de las vacas..... | 73 |
| Anexo 2: Base de datos de producción y composición de leche..... | 73 |
| Anexo 3: Base de datos de la composición química de pastos..... | 74 |
| Anexo 4: Base de datos de consumo de alimento..... | 74 |
| Anexo 5: Base de datos de emisión de metano..... | 75 |
| Anexo 6: Base de datos de emisión de óxido nitroso..... | 75 |
| Anexo 7: Base de datos de emisión de GEI..... | 76 |
| Anexo 8: Ecuación de tasa de ingesta de N para vacunos (IPCC 2019)..... | 76 |
| Anexo 9: Ecuación de tasa de excreción anual de N (IPCC 2019)..... | 77 |
| Anexo 11: Ecuación para estimar la cantidad de excreta producida..... | 77 |
| Anexo 12: Plantilla para cálculo de emisiones de metano entérico..... | 78 |
| Anexo 13: Plantilla para cálculo emisiones de metano por gestión de estiércol..... | 79 |
| Anexo 14: Plantilla para cálculo de emisiones directas de óxido nitroso por manejo de estiércol..... | 80 |
| Anexo 15: Plantilla para cálculo de emisiones indirectas de óxido nitroso por manejo de estiércol..... | 81 |
| Anexo 16: Plantilla para cálculo de emisiones directas de óxido nitroso del depósito de orina y estiércol en pasturas..... | 82 |
| Anexo 17: Plantilla para cálculo de emisiones indirectas de óxido nitroso del depósito de orina y estiércol en pasturas (volatilización y lixiviación) | 82 |
| Anexo 18: Modelo de encuesta a productores | 83 |
| Anexo 19: Pasto natural en época seca del Distrito de San Pedro de Pilas | 84 |
| Anexo 20: Ganado vacuno del distrito de San Pedro de Pilas | 84. |
| Anexo 21: Visita a comuneros del distrito..... | 85 |

ACRÓNIMOS

GEI : Gases de efecto invernadero

N₂O: Óxido nitroso

CH₄: Metano

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

ACV: Análisis del ciclo de vida

CMS: Consumo de materia seca

FDN: Fibra detergente neutra

FDA: Fibra detergente ácida

DIVMS: Digestibilidad in vitro de la materia seca

MSP: Metabolitos secundarios de las plantas

SF₆: Hexafluoruro de Azufre

FE: Factor de emisión de metano

ELN: Extracto libre de nitrógeno

NDT: Nutrientes digestibles totales

Y_m: Factor de conversión de metano

EB: Consumo de energía bruta

LCG: Leche corregida por grasa

PV: Peso vivo

SL: Semanas de lactancia

DE: Digestibilidad de la energía

EM: Energía metabolizable

SV: Sólidos volátiles

MCF: Factor de conversión a metano por cada sistema de gestión de estiércol

MMS: Fracción del estiércol manejado usando un sistema de gestión de estiércol

FRA: Fracción de la excreción total anual de nitrógeno

EF3: Factor de emisión para emisiones directas de N₂O

EF4: Factor de emisión para emisiones de N₂O de la deposición atmosférica de N en la superficie de suelo o el agua.

EF5: Factor de emisión para emisión de N₂O por lixiviación y escurrimiento de N.

FRACgas: Porcentaje de N proveniente de la gestión de estiércol que se volatiliza como NH_3 y NO_x

FRApas: Fracción de orina y heces depositada en pasturas

Nex: Nitrógeno excretado

FRAleach: Fracción que se pierde por lixiviación

RESUMEN

El calentamiento global es una problemática actual la cual está directamente relacionada al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Es bien sabido que la ganadería forma parte crucial en la producción de estos gases, principalmente del metano entérico. En los últimos años se han ido desarrollando estudios sobre la cuantificación de estos gases principalmente en la zona altoandina. Por ello, el objetivo del presente estudio es estimar las emisiones de GEI provenientes de vacas lactantes en el distrito de San Pedro de Pilas (Yauyos) en las épocas seca e inicio de lluvias. Este estudio se desarrolló tomando como base las ecuaciones de predicción de nivel 2 del IPCC (2019), las emisiones se calcularon en términos de CO₂-eq. La recopilación de información y toma de muestras se desarrolló con 7 productores de ganado bovino durante cada época, a ellos se les aplicó encuestas sobre su sistema productivo y se realizó mediciones en el animal. Asimismo, se tomaron muestras de pastos y heces que luego fueron analizados en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) y muestras de leche que fueron enviados para su análisis al Laboratorio de Leche y Carne de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Para comparar las emisiones de metano, óxido nitroso y GEI en ambas épocas se utilizó la prueba T-Student para datos independientes. Como resultado se obtuvo emisiones de GEI por vaca al día de 6.45 kgCO₂-eq en época seca y 7.94 kgCO₂-eq en época de inicio de lluvias. Asimismo, las emisiones de GEI por kg de leche fueron de 2.16 kg CO₂-eq y 1.89 kg CO₂-eq en época seca e inicio de lluvias, respectivamente. En cuanto a las emisiones de metano por vaca al día se obtuvieron valores de 204.07 gCH₄ y 255.06 gCH₄ en época seca e inicio de lluvias, respectivamente. Por otro lado, las emisiones de N₂O por vaca al día fueron de 0.619 kgCO₂-eq en época seca y 0.645 kgCO₂-eq en época de inicio de lluvias. Finalmente, se concluye que hubo diferencias en las emisiones de GEI y CH₄, mostrando valores superiores para la época de inicio de lluvias. Sin embargo, no hubo diferencias en las emisiones de N₂O en ambas épocas.

Palabras claves: GEI, vacas lecheras, época seca, época inicios de lluvia, metano, óxido nitroso

ABSTRACT

Global warming is a current problem which is related to the increase in greenhouse gas emissions (GHG). It is well known that livestock is a crucial part in the production of these gases, mainly from enteric methane. In recent years, studies have been carried out on the quantification of these gases, mainly in the high Andean area. For this reason, the objective of this study is to estimate GHG emissions from lactating cows in the district of San Pedro de Pilas (Yauyos) during the dry and early rainy seasons. This study was developed based on the IPCC (2019) level 2 prediction equations, emissions were calculated in terms of CO₂-eq. The collection of information and sampling was carried out with 7 cattle producers in each season. Surveys on their production system were applied to them and measurements were made on the animal. Likewise, samples of pasture and feces were taken which were then analyzed in the Laboratory for Nutritional Evaluation of Food (LENA) and milk samples were sent for analysis to the Milk and Meat Laboratory of the Universidad Nacional Agraria La Molina. To compare the emissions of methane, nitrous oxide and GHG in both seasons, the T-Student test was used for independent data. As a result, GHG emissions per cow per day of 6.45 kgCO₂-eq in the dry season and 7.94 kgCO₂-eq in the early rainy season were obtained. Likewise, GHG emissions per kg of milk were 2.16 kg CO₂-eq and 1.89 kg CO₂-eq during the dry and early rainy season, respectively. Regarding methane emissions per cow per day, values of 204.07 gCH₄ and 255.06 gCH₄ were obtained in the dry and early rainy season, respectively. On the other hand, N₂O emissions per cow per day were 0.619 kgCO₂-eq in the dry season and 0.645 kgCO₂-eq in the early rainy season. Finally, it is concluded that there were differences in GHG and CH₄ emissions, showing higher values for the early rainy season. However, there were no differences in N₂O emissions between both seasons.

Keywords: GHG, dairy cows, dry season, early rainy season, methane, nitrous oxide

I. INTRODUCCIÓN

El planeta está enfrentando una gran problemática que es el incremento de la temperatura a nivel mundial conocido como “Calentamiento Global”. Actualmente se está dando un incremento de temperatura a nivel de los océanos, una disminución de la cantidad de glaciares, un aumento del nivel de mar, entre otros efectos perjudicantes (Bindoff *et al.* 2007). En el caso de la zona rural los efectos son aún mayores, estas poblaciones que tienen cómo actividad principal la agricultura y ganadería van a depender mucho de los factores medioambientales, razón por la cual se cree que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tendrán cierta variación en las diferentes épocas del año. El sector ganadero es considerado una fuente considerable de emisiones de GEI, principalmente de metano entérico. La metanogénesis es un proceso natural que se desarrolla en los rumiantes cuyo producto es el metano entérico, el cual representa una ineficiencia para el ganado a nivel nutricional.

El Perú cuenta con amplias zonas rurales en los cuáles se desarrolla la crianza de ganado vacuno, razón por la cual se han ido desarrollando diversos estudios de cuantificación de estos gases, principalmente en la zona altoandina. Algunos autores han estudiado específicamente las emisiones de metano entérico cómo es el caso de Medrano (2019) cuyo estudio fue desarrollado en pastizales altoandinos. Otros autores enfocaron su estudio en sistemas donde la alimentación base consistió en pasto cultivado, cómo el estudio desarrollado por Alvarado (2018). Sin embargo, existen pocos estudios desarrollados en el país que involucren tanto las emisiones de metano y de óxido nitroso. El más representativo es el desarrollado por Van (2014), quién mediante el uso de la herramienta de huella de carbono, estima las emisiones globales de gases de efecto invernadero provenientes de dos sistemas de producción lechera en el Valle del Mantaro. En Lima, la capital del Perú, también existe ganadería extensiva en dónde los animales se alimentan principalmente de pastos naturales propios de la zona. En vista que este sector ganadero es poco estudiado, el presente estudio está ubicado en el distrito de San Pedro de Pilas perteneciente a la provincia de Yauyos, departamento de Lima. En relación a lo anterior, se demuestra la importancia de conocer las emisiones de GEI que este sector ganadero pueda generar bajo esas condiciones.

Adicionalmente, estudios previos muestran una posible variación en las emisiones de GEI para las épocas seca y lluviosa. Sin embargo, poco se ha estudiado las emisiones de GEI en la temporada de inicio de lluvias.

La principal herramienta utilizada para el cálculo de las emisiones de los diversos gases de efecto invernadero es la propuesta por el IPCC (2019) en su nivel 2, el cuál es muy específico para el cálculo de metano y óxido nitroso provenientes de la ganadería. Esta metodología es muy utilizada debido a que se adecúa muy bien a las diversas circunstancias y realidades de los sistemas de producción bovina. En este sentido, en el presente estudio se hará uso de dicha metodología para la estimación del metano producido por la vaca y por la gestión del estiércol. Por otro lado, para el cálculo del óxido nitroso se tomó como base únicamente las emisiones derivadas del estiércol del animal. Aquello tuvo como propósito restringir el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero a únicamente las emisiones de la vaca y sus excretas, dejando de lado otros procesos del sistema productivo.

Finalmente, se plantea realizar el presente estudio considerando que a nivel regional no existe evidencia de investigaciones realizadas en emisiones de GEI emitidas por esta especie. De esta forma, se consideró conveniente y oportuno dicho estudio para que estos valores puedan servir como base de investigaciones futuras, a fin de reducir las emisiones de GEI en la región. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es estimar las emisiones de GEI por vacas lactantes en época seca e inicio de lluvias en el distrito de San Pedro de Pilas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CALENTAMIENTO GLOBAL Y GEI

La temperatura ambiental varía dependiendo de las épocas y también del sitio. Sin embargo, a través de las últimas décadas estos cambios parecen haberse acelerado, basándose en algunos indicadores del cambio climático tales como el aumento de la temperatura de la superficie de la Tierra, la reducción de la superficie del hielo Ártico y de los glaciares continentales y el aumento del nivel medio global del mar. También algunos indicadores biológicos como los desplazamientos de poblaciones de animales debido a los cambios de hábitat como consecuencia a los cambios climáticos. El causal de este calentamiento global viene a ser el llamado efecto invernadero, el cual se define como la presencia y acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo cual impide que la radiación emitida por la tierra pueda traspasar la atmósfera debido a que estos GEI retienen esta radiación, resultando en un aumento de la temperatura ambiental (IPCC 2007).

En términos generales, los gases de efecto invernadero son esenciales para la vida (IPCC 2007). Sin embargo, la exagerada presencia de estos gases en la atmósfera viene ocasionando un aumento excesivo de la temperatura del aire y de la superficie terrestre por encima de los niveles aceptables (Colque y Sánchez 2007). Para Forster *et al.* (2007) el “Calentamiento Global” es el resultado de este efecto invernadero incrementado (MINAM 2009), y bajo estimaciones realizadas por modelación se plantea que antes de fin de siglo el aumento de temperatura del planeta será de 2 a 6 °C.

Debido a acuerdos internacionales, muchos países están realizando acciones para controlar las emisiones de GEI. Como una primera acción se propone determinar el inventario de GEI que cada país emite considerando las actividades socio-económicas de estos. Por el lado de la actividad pecuaria, está incluida las emisiones ligadas a la forma directa de emisión en los animales y también la derivada del estiércol de ganado. En esta instancia, los principales gases de efecto invernadero considerados en ganadería serían CH₄ y NO₂ (Bonilla 2012). La metodología para elaborar los inventarios nacionales de GEI es la que recomienda el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC 2019).

2.1.1. Principales Gases de Efecto Invernadero

a. Vapor de agua (H₂O)

Se considera al vapor de agua como el GEI más abundante presente en la atmósfera y es producido por evaporación, ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo (Colque y Sánchez 2007). Si bien las actividades humanas no ocasionan directamente el aumento de vapor de agua en la atmósfera, el incremento de las concentraciones de otros GEI afecta indirectamente el ciclo hidrológico del agua. Por ello, se tiene que, a mayor temperatura de la atmósfera, esto ocasionará un aumento del contenido de vapor de agua en ella (Benavides y León 2007).

b. Ozono (O₃)

El Ozono se encuentra presente en la estratósfera y en la tropósfera (Colque y Sánchez 2007). El Ozono estratosférico tiene por función proteger al planeta de niveles perjudiciales de radiación ultravioleta. Sin embargo, en los últimos años se ha observado una pérdida de ozono en la estratósfera lo cual provoca un reforzamiento radiactivo negativo (Benavides y León 2007). El ozono troposférico, el cual se ha ido incrementando en los últimos años, es una consecuencia que se deriva de la actividad atmosférica de los NO_x. Este ozono surge de la química diurna y es un gas de efecto invernadero con un superior forzamiento radiactivo que el que posee el N₂O (Fernández 2015).

La diferencia entre el ozono estratosférico y el troposférico radica en que en la estratósfera el ozono nos protege de la radiación ultravioleta. Por otro lado, en la tropósfera presenta efectos perjudiciales debido a su abundancia y toxicidad, siendo considerado el principal oxidante del smog fotoquímico (Gutierrez 2021).

c. Dióxido de carbono (CO₂)

Al dióxido de carbono se le va a considerar el GEI más importante asociado a las actividades humanas como lo son el consumo de combustibles fósiles y leña, además de la tala y quema de bosques (Benavides y León 2007). Si bien este gas a lo largo del tiempo ha contribuido en mantener una temperatura constante en nuestro planeta, su concentración en la atmósfera ha ido en aumento en los últimos años, es así que en la actualidad se le considera el responsable de casi el 76% del calentamiento global (Colque y Sánchez 2007). Finalmente se puede decir que posee un potencial de calentamiento de

1, razón por la cual se toma éste como referente para el respectivo cálculo en términos de CO₂ equivalente (IPCC 2019)

d. Óxido nitroso (N₂O)

El óxido nitroso es un GEI que se emite de la combustión de vehículos motorizados Diesel, también se le encuentra en los fertilizantes nitrogenados (Colque y Sánchez 2007). La fuente antropógena primordial del óxido nitroso viene a ser la agricultura cuándo se realiza la gestión del estiércol y del suelo (Ruiz 2018). En lo referente a la gestión del estiércol, las emisiones de óxido nitroso siguen 2 vías, indirectas y directas. Las directas van a suceder de la nitrificación y desnitrificación, mientras que las indirectas van a resultar de la pérdida de nitrógeno volátil (SAGARPA 2012).

e. Metano (CH₄)

Este GEI es emitido de igual forma que en el CO₂ a través de la combustión de combustible fósil, además también se produce en pozos de petróleo, cultivos de arroz y está directamente relacionado con la digestión alimenticia de los rumiantes (Colque y Sánchez 2007). En términos generales se considera cómo la fuente más importante de metano a la descomposición orgánica en los diversos sistemas biológicos, entre ellos tenemos a las actividades relacionadas con la fermentación entérica en rumiantes, la disposición de los residuos sólidos y al tratamiento anaeróbico de las aguas residuales (Benavides y León 2007).

2.2. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL PERÚ

La realidad peruana es que somos un país que se encuentra en vías de desarrollo, el cual presenta área agrícola en gran porcentaje de su superficie, y va desarrollando la crianza de ganado vacuno en las tres regiones de nuestro país. En el año 2016, el Perú ratificó sus obligaciones internacionales asumidas ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) al presentar la Tercera Comunicación Nacional.

Se compara de esta forma los gases de efecto invernadero transformando los gases a unidades equivalentes de CO₂, es así que se reporta que para el año 2005 se presentó la menor emisión de GEI con un valor de 154827 Gg de CO₂-eq (MINAM 2016). En este sentido, la tendencia a través de los años fue un incremento en las emisiones de GEI, dando cómo último reporte

MINAM en el año 2016 emisiones de 205294 Gg de CO₂-eq. Por otro lado, el sector agricultura, específicamente la emisión derivada de la fermentación entérica le corresponde un 5.6% de participación del total de emisiones de gases de efecto invernadero, siendo este valor significativo considerando que se debe principalmente a los rumiantes.

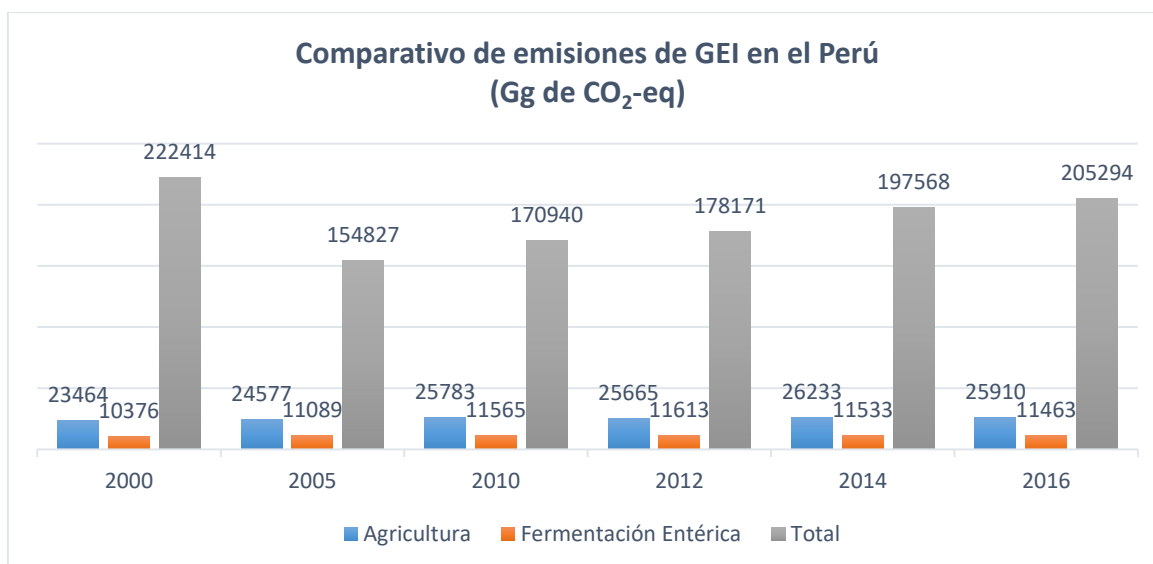


Figura 1: Emisiones de GEI en el Perú en el sector agricultura a través de los años.

Fuente: MINAM (2016)

Entre los principales efectos del cambio climático en el Perú encontramos a) el retroceso glacial, b) el aumento de la frecuencia e intensidad del Fenómeno del Niño y c) la elevación del nivel del mar (Barco y Vargas 2010). Con referencia al retroceso glacial se estima que en los próximos años, cuándo este efecto se acentúe más, tendrá graves consecuencias negativas debido a que la disponibilidad de agua será mucho menor, prolongándose y provocando largos periodos de sequías. En referencia al aumento de la frecuencia e intensidad del Fenómeno del Niño tiene cómo causa el sobrecalentamiento de la capa superior de los océanos. Finalmente se tiene a la elevación del nivel del mar como una consecuencia al cambio climático.

Por otro lado, en relación al crecimiento económico, Vargas (2009) reportó una estimación para el año 2030 acerca del crecimiento de la economía peruana. En esta estimación determinó que un aumento de 1°C sumado a un aumento de un 10 por ciento en la variabilidad de las precipitaciones implicaría que la tasa de crecimiento del PBI per cápita esté entre los valores de 0.56 y 0.67 por debajo del nivel porcentual. Esto en resumen

significa un impacto negativo en el PBI de Perú, estimándose para el año 2025 el impacto negativo sería de un 4.4 por ciento.

2.2.1. Estudios nacionales de cuantificación de gases de efecto invernadero

Uno de los principales estudios desarrollados en Perú es el realizado por Bartl et al. (2011), quién analiza las emisiones de GEI mediante la metodología del Análisis del Ciclo de vida. En ese estudio Bartl et al. (2011) evalúan el ciclo de vida de la leche producida en dos pequeños sistemas lácteos en la sierra y la costa del Perú. Una característica de dicho estudio es que engloba todas las emisiones externas al animal, cómo lo son el transporte, uso de energía para la producción de alimento, fertilización de cultivados, etc. Debido a ello, Bartl et al. (2011) reportan altas emisiones de 8066 kg CO₂-eq / animal/ año en el caso de sistemas intensivos de costa. Caso contrario de los sistemas extensivos de zonas altoandinas, dónde reporta emisiones totales de GEI provenientes de la ganadería de 2846 kg CO₂-eq/vaca/año. Asimismo, en cuanto a la categoría de fermentación entérica y manejo de estiércol, Bartl et al. (2011) reportan emisiones de 5965 kgCO₂-eq/animal/año en sistemas intensivos de costa y 2325 kgCO₂-eq/animal/año en sistemas extensivos de zonas altas. Por otro lado, Van (2014) desarrolló un estudio en Huella de Carbono del cuál reportó emisiones globales de 4526 kg CO₂-eq / animal/ año en el Valle del Mantaro y 8577.5 kg CO₂-eq / animal/ año en Cañete (Lima). Cabe precisar que en el estudio de Van (2014) en Cañete, los productores presentan un sistema lechero intensivo, mientras que en el Valle del Mantaro existe un sistema extensivo de la producción lechera. Aquello es relevante debido a que las emisiones varían considerablemente por los procesos incluidos. De manera individual, Van (2014) reportó emisiones totales de metano de 4818 kg CO₂-eq / animal/ año bajo el sistema intensivo en Cañete y emisiones de 3613.5 kg CO₂-eq / animal/ año bajo un sistema extensivo en el Valle del Mantaro. De igual manera, reportó emisiones de óxido nitroso de 584 kg CO₂-eq / animal/ año bajo el sistema extensivo y 1606 kg CO₂-eq / animal/ año bajo el sistema intensivo. También se han desarrollado estudios de cuantificación de GEI en la selva peruana, con vacas alimentadas con pastos tropicales. Uno esos estudios es el desarrollado por Ruiz (2018), quién cuantificó la emisión global de GEI para sistemas de producción en la región Amazonas.

En Perú, uno de los primeros estudios en cuantificación de metano entérico fue el desarrollado por Moscoso et al. (2017). Este estudio fue realizado en Cusco en pastizales

altoandinos. Moscoso et al. (2017) reportaron emisiones de 421 g CH₄/vaca/día. Otro estudio realizado en pastizales altoandinos de la sierra de Junín fue el realizado por Medrano (2019), quién reportó emisiones de 257 g CH₄/vaca/día. Alvarado et al. (2021) reportaron emisiones de metano entérico de 213 g CH₄/vaca/día en época lluviosa y 257 g CH₄/vaca/día para época seca en pastos naturales de zonas altoandinas. En Moquegua, Bedoya (2020) estimó las emisiones de metano generado por el ganado vacuno. Para ello, Bedoya (2020) usó las directrices del modelo IPCC y expresó las emisiones de metano en términos de Gg CH₄/año.

En cuanto a las emisiones de metano producido por la gestión de estiércol, Reategui (2017) realizó las estimaciones respectivas en sistemas de producción de vacunos lecheros de la zona de Majes en Arequipa. Las estimaciones fueron realizadas mediante las guías del IPCC y se obtuvo emisiones de metano derivadas de la gestión del estiércol de 1.16 kg CH₄/animal/año para establos semi intensivos y emisiones de 0.99 kg CH₄/animal/año para establos intensivos.

García (2019) en su estudio realizado en ganadería lechera altoandina de Junín, cuantificó las emisiones de óxido nitroso en suelos de pasturas cultivadas. García (2019) cuantificó las emisiones de óxido nitroso mediante el método de cámaras estáticas de flujo cerrado. Igualmente, Suquisupa (2019) también realizó un estudio en el departamento de Junín para la cuantificación de la emisión de óxido nitroso mediante cámaras estáticas de flujo cerrado. La diferencia radica en que Suquisupa (2019) realizó su evaluación en praderas naturales

2.3. GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA GANADERÍA

La ganadería representa una fuente significativa de las emisiones totales de gases de efecto invernadero debido a que se genera gran cantidad de CO₂, CH₄ y N₂O. Se tiene constancia que el sector ganadero contribuye anualmente con un 18% del total de emisiones de GEI de origen antropogénico (Steinfeld *et al.* 2006; Alayón-Gamboa *et al.* 2018) y de ese porcentaje el CH₄ y N₂O emitidos por rumiantes constituyen juntos el 75% del total de emisiones equivalentes de CO₂ (Alayón-Gamboa *et al.* 2018). En términos generales se tiene constancia que el sector pecuario emite aproximadamente 7.1 Gt de CO₂-eq/año, según estudios realizados con base en el análisis del ciclo de vida (ACV) (Steinfeld *et al.* 2009; Lipa 2017), lo que representa el 14.5% de las emisiones antropogénicas.

De las emisiones provenientes del sector ganadería, el vacuno es el que presenta el mayor porcentaje de emisiones de GEI con un 65% de las emisiones generadas por el sector pecuario, equivaliendo a 4.6 Gt de CO₂-eq/año (FAO 2013; Alvarado 2018). En complemento a ello, Gerber et al. (2013^b) sostienen que el ganado vacuno contribuye con el 41% y el 29% de las emisiones de GEI por parte de la producción de carne y leche, respectivamente, además sostiene también que la producción y elaboración de piensos emite un 45%, la fermentación entérica un 40% y el almacenamiento de estiércol un 10%. En la Figura 2 se muestra una distribución de las emisiones globales de GEI por categorías para los GEI más representativos del sector ganadero.

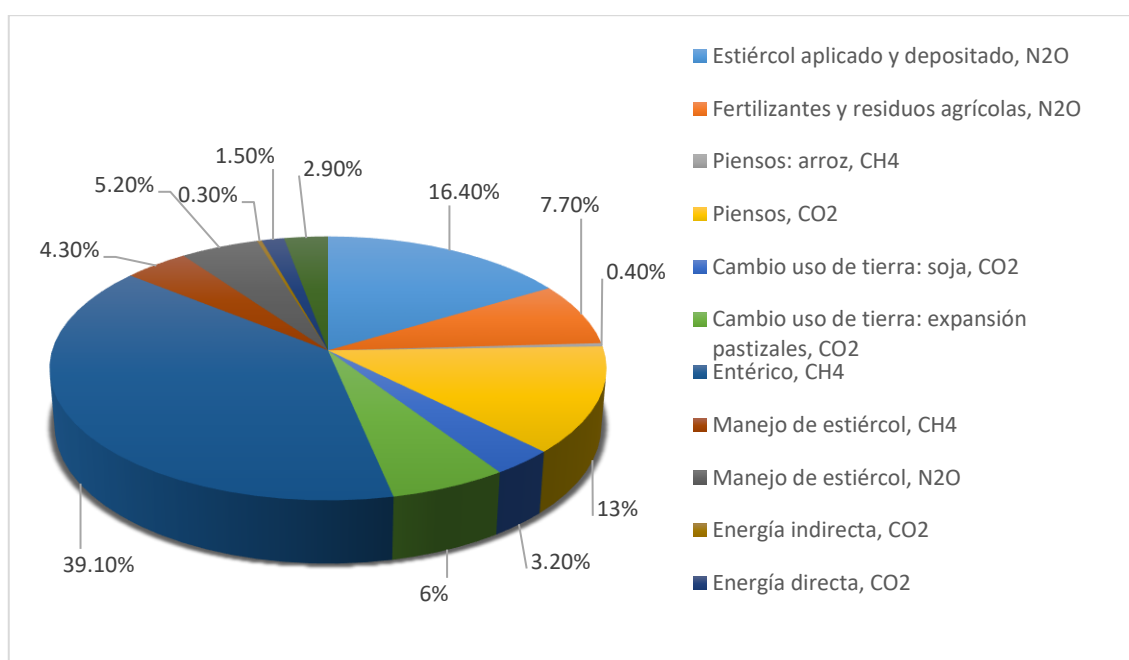


Figura 2: Emisiones globales de las cadenas de suministros ganaderos por categorías de emisión.

Fuente: Gerber *et al.* (2013b)

De todos los GEI emitidos por el sector pecuario es el metano el más relevante pues constituye el 44% del total (Chino 2016), además se calcula que la cantidad de metano emitido a la atmósfera rondaría los 320 millones de toneladas/año (Van Aardenne *et al.* 2001). Por otro lado, Kurihara *et al.* (1999) y Johnson y Johnson (1995) sostienen que las emisiones de metano provenientes del ganado bovino están estimadas en 58 millones de toneladas al año.

Haciendo uso de la metodología del nivel 1 del IPCC, se calculó la emisión de CH₄ proveniente de los sistemas de producción animal para el año 2006 en el Perú, obteniéndose valores de 472Gg (Lipa 2017). En este sentido, la ganadería de Puno y Cajamarca representan el 11% y 6.8% respectivamente del total de emisión de metano (Lipa 2017). Ante este panorama, se habla de maneras de lograr un medioambiente amigable, el cual sostiene que un aumento en la producción en los diversos sistemas de producción animal debe estar ligado con una mejora en la eficiencia productiva y no tanto en el aumento del número de cabezas de ganado (Leng 1993). Sin embargo, en la realidad del país se observa que a través de los años ha habido un incremento del número de animales, principalmente de ganado lechero (Gómez *et al.* 2005).

Tabla 1: Estimación de la emisión de metano proveniente de fermentación entérica y manejo de estiércol.

| ESPECIE | Población Animal Cabezas / año | Factores de emisión de metano por manejo de estiércol por T° | | | Emisión por fermentación entérica | | Emisión por manejo de estiércol | | Emisión Total | |
|----------------|-----------------------------------|--|--------------------|----------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------|------------|---------------|------------|
| | | Frio (<15 °C) | Templado (15-25°C) | Cálido (>25°C) | Gg / año | % | Gg / año | % | Gg / año | % |
| Vacas lecheras | 895,718 | 1.00 | 1.00 | 2.00 | 77.9 | 16.8 | 0.93 | 7.94 | 78.9 | 16.6 |
| Otro ganado | 4,639,737 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 260 | 56.0 | 4.64 | 39.6 | 264 | 55.6 |
| Ovinos | 11,450,659 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 57.3 | 12.3 | 1.33 | 11.4 | 58.6 | 12.3 |
| Caprinos | 1,879,713 | 0.11 | 0.17 | 0.22 | 9.4 | 2.0 | 0.31 | 2.65 | 9.71 | 2.04 |
| Caballos | 526,290,56 | 1.09 | 1.64 | 2.19 | 9.47 | 2.0 | 0.75 | 6.4 | 10.2 | 2.15 |
| Mulas / Asnos | 590,007.71 | 0.60 | 0.90 | 1.20 | 5.9 | 1.3 | 0.47 | 4.01 | 6.37 | 1.34 |
| Porcinos | 904,700.42 | 1.00 | 1.00 | 2.00 | 0.9 | 0.2 | 1 | 8.54 | 1.9 | 0.4 |
| Alpaca | 4,319,229.00 | 0.17 | 0.26 | 0.34 | 34.6 | 7.4 | 0.82 | 7 | 35.4 | 7.43 |
| Llama | 1,105,017.00 | 0.28 | 0.42 | 0.56 | 8.84 | 1.9 | 0.35 | 2.99 | 9.19 | 1.93 |
| Ave | 49,559,797.50 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | | 0.0 | 0.96 | 8.2 | 0.96 | 0.2 |
| Cuyes | 3,584,640.10 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.15 | 0.0 | 0.15 | 1.28 | 0.3 | 0.06 |
| Total | | | | | 464 | 100.0 | 11.71 | 100 | 476 | 100 |

Fuente: RAGEI (2016)

En la Tabla 1 se muestra a detalle el contraste de las diferentes especies de animales con su respectivo impacto en cuánto a emisión de metano, mostrando cantidades de 464 Gg/año proveniente de la fermentación entérica, en comparación con los 11.71 Gg/año perteneciente al manejo del estiércol. Asimismo, se puede concluir que el ganado vacuno constituye el mayor contribuyente de metano en comparación con los otros animales, con un 72.2% del total de metano emitido en el Perú. En segundo lugar, se encuentra el ganado ovino con un 12.3%.

2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO

INVERNADERO

La producción de vacunos a nivel nacional tiene como principal fuente de GEI al CH₄ de la fermentación entérica. En el caso de las emisiones de N₂O provenientes de ganadería, estas emisiones se van a dar debido al manejo del estiércol, la composición del estiércol va a depender en gran medida de la composición de la dieta del animal y aquello estará ligado con la cantidad de CH₄ producido. De esta forma, a mayor contenido energético y digestibilidad del alimento, mayor será el potencial de emisión de CH₄. Por otro lado, la cantidad de N₂O producido va a variar dependiendo de las condiciones, es decir de la composición del estiércol y la orina, nivel de oxígeno y tipo de bacterias involucradas (Zúñiga *et al.* 2012).

En el caso de los factores que influyen en la variación de las emisiones de CH₄, se puede subdividir en 2 categorías. Por un lado están los factores propios del animal y por otro están los factores que tienen relación con la dieta del animal. Los factores propios del animal o intrínsecos son los relacionados con la edad, estado fisiológico, calidad genética, entre otros. Como se puede ver existen muchos factores que pueden influir en el nivel de emisión de este gas. Sin embargo, entre los más importantes están el consumo y la composición química del alimento (Blaxter y Clapperton 1965; Jonker *et al.* 2017; Medrano 2019). A continuación, se describen estos factores influyentes.

2.4.1. Factores relacionados con la dieta del animal.

a. Consumo de alimento

Se considera al consumo de la materia seca (CMS) como el factor más importante que va a determinar la emisión de CH₄ (Pinares-Patiño *et al.* 2007; Richmond *et al.* 2015; Medrano 2019). En este sentido, Johnson y Johnson (1995) sostienen que la emisión de CH₄ (g CH₄/kg MS) disminuye 1.6% por un incremento de 1kg de CMS. Otro estudio realizado por Lassey *et al.* (1997) en ovinos, muestran que no existe una correlación muy significativa entre la emisión de CH₄ y el CMS. Lassey *et al.* (1997) obtuvieron que el CMS sólo aportaría con el 14% de la variación de la emisión CH₄. Por el contrario, Jonker *et al.* (2017) sostienen que de la variación total de la emisión de metano por unidad de

consumo, el 90.8% es explicado por el CMS. De la misma manera, Boadi y Wittenberg (2002) sostienen que el 64% de la variación de CH₄ es explicado por el CMS. Cómo sostienen los anteriores autores presentados, es consistente decir que existe una influencia del consumo en la producción de metano entérico.

El efecto del consumo de materia seca sobre las emisiones de metano (g CH₄/ kg MS) puede ser explicado a nivel fisiológico. Un alto CMS provoca una mayor tasa de pasaje del alimento, en consecuencia se reduce el tiempo de exposición del alimento con los microorganismos metanogénicos (Medrano 2019; Perry *et al.* 2016; Blaxter y Clapperton 1965). Es decir, la producción de metano va a disminuir debido al incremento de la tasa de pasaje ruminal (McAllister *et al.* 1996; Pari 2017). Una mayor tasa de pasaje producirá un aumento en la proporción de propionato en el rumen, es por ello que existe una fuerte correlación negativa entre la producción de propionato y la cantidad de metano producido (Janssen 2010). Cómo bien se ha descrito que el aumentar CMS al día disminuiría la producción de metano en términos de g CH₄ por kg de materia seca. Sin embargo, la producción total de metano al día estará directamente relacionada con el consumo total de materia seca de la dieta. Cabe mencionar que la digestibilidad de la dieta también tiene un fuerte efecto en la producción de metano entérico, ello en conjunto con otras características cómo lo son el CMS, nivel productivo del animal y más, lograrán aumentar o disminuir las emisiones de metano.

b. Composición química del alimento

Un factor dietético importante es el tipo de carbohidrato y la tasa de fermentación de este (Chandramoni *et al.* 2000; Dachraoui 2015). Es así que la calidad de forraje tendrá un efecto sustancial sobre la producción de metano entérico (Boadi y Wittenberg 2002; Ominski y Wittenberg 2004).

En rumiantes, dietas ricas en almidones tiende a producir mayores cantidades de propionato y menor relación acetato:propionato, por ende producen menores emisiones de metano entérico (Pari 2017). La composición de la dieta del animal tiene un fuerte efecto en la producción de CH₄. Dietas altas en granos, con más del 90% de concentrado, pueden reducir la producción de CH₄ entre 2 a 3% (Johnson y Johnson 1995; Pari 2017). Demeyer y Hendrickx (1967) sostienen que dietas ricas en almidones producen altas tasas de fermentación, estas altas tasas tienen un efecto inhibitorio en las bacterias

metanogénicas y además aumentan la producción de propionato, disminuyendo la metanogénesis.

Sin embargo, el ganado vacuno por ser un rumiante tiene como principal insumo el pasto verde. En el caso de las dietas que están basadas principalmente de forrajes, la producción de metano estará correlacionada positivamente con la digestibilidad de la materia orgánica y la cantidad de FDN en la ración (Archimède *et al.* 2011). En animales al pastoreo, la digestibilidad del forraje estará íntimamente relacionado con el consumo. De esta forma, Hammond *et al.* (2009) sostienen que un 20% de la producción de metano entérico en vacas puede ser explicado por variaciones en la composición química del pasto. En esta instancia cobra relevancia el estudio del efecto de la fibra como componente de la dieta sobre la producción de metano. Al respecto, Dall-Orsoletta *et al.* (2016) encontraron diferencias entre la producción de metano por parte de animales con similares CMS teniendo como principal causa el contenido de FDN de la dieta. Pinares-Patiño *et al.* (2010) señala una correlación de 74% entre la producción de metano entérico y el consumo de FDN. Finalmente, según Johnson y Johnson (1995), forrajes con altos porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina favorecen la producción de butirato y acetato y desfavorecen la producción de propionato, lo cual está ligado a una mayor producción de metano entérico.

Adicionalmente, la calidad de la dieta es indispensable cuando se habla de emisión de CH₄. En un estudio realizado por Chagunda *et al.* (2010), usando las ecuaciones de Yates *et al.* (2000) y Mills *et al.* (2003), se demuestra que la calidad del ensilado de pasto consumido por vacas lecheras tiene efecto sobre la producción de metano estimado (Tabla 2). Como se puede observar en la Tabla 2, mediante la ecuación de Yates *et al.* (2000) se obtiene que existe una diferencia en cuanto a la producción de metano entérico en calidades de ensilado baja, media y alta, siendo la calidad baja la que produce mayor cantidad de metano entérico por kilogramo de leche, la calidad baja muestra un 16 y 33% más en producción de metano en comparación con las calidades media y alta, respectivamente (Dachraoui 2015). En síntesis, se puede decir que existe mayores emisiones de metano entérico cuando el animal es sometido a dietas en base a forraje de baja calidad (Ominski y Wittenberg 2004).

Tabla 2: Producción de leche (kg/d) y estimaciones de la producción de metano entérico (g/kg de leche) para diferente calidad de ensilados.

| Variable | Calidad de Ensilado | | | | | |
|----------------------------|---------------------|------|----------|------|----------|------|
| | Baja | | Media | | Alta | |
| | Promedio | e.e. | Promedio | e.e. | Promedio | e.e. |
| Producción de leche (kg/d) | 14,3 | 0,22 | 17,3 | 0,15 | 22,2 | 0,19 |
| Metano 1 (g/kg leche) | 28,1 | 0,45 | 23,6 | 0,3 | 18,7 | 0,39 |
| Metano 2 (g/kg leche) | 29,3 | 1,25 | 24,6 | 0,83 | 20,5 | 1,07 |

Metano 1=Yates et al. (2000), Metano 2= Mills et al. (2003).

Fuente: Tomado de Chagunda et al. (2010)

Existe una tendencia que afirma que con la reducción de proteína en la dieta de los rumiantes, se puede conseguir menores emisiones de metano a la atmósfera. Al respecto, los investigadores del Grupo de Investigación de Producción Animal de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIAAB-UPM) han realizado un estudio que consistió en determinar el efecto de la contribución de la dieta y de la proteína perteneciente a esta, a las emisiones de CH₄ hacia la atmósfera para de esta forma poder determinar hasta qué punto es factible modificar la dieta sin que ello afecte la productividad y bienestar de los animales. Como resultado al experimento descrito, se obtuvo que modificando el nivel de proteína de la dieta de rumiantes se puede obtener una reducción de hasta un 10% en las emisiones de metano por parte del ganado, contabilizando lo anterior se tiene que por cada 100 gramos de proteína generada en el rumen se produce hasta 3L de metano. Con anterior queda demostrado que diferente a lo que se creía anteriormente, la emisión de metano no sólo va a estar ligado al nivel de fibra de la dieta, sino que además también, el nivel proteico será un factor determinante (Haro *et al.* 2018).

2.4.2. Factores relacionados con el animal

a. Especie

La especie será un factor determinante debido a las características propias de esta (Dachraoui 2015). Un bovino no poseerá la misma flora ruminal que un ovino o un caprino. Las diferencias en cuanto a perfil microbiano, la actividad metabólica, zona de fermentación, entre otros, determinarán la variabilidad en las producciones de metano entérico (De Blas *et al.* 2008; Demeyer y Fievez 2000). En este sentido, en España durante

el año 2012 el rumiante que produjo la mayor cantidad de metano entérico fue el ganado vacuno con una producción total de 297.917 toneladas de CH₄/año (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2012).

b. Nivel de producción

El nivel de producción es otro factor importante debido a que tiene relación con la eficiencia productiva del animal. Estudios realizados en vacas lecheras muestran que las vacas con mayores índices de producción de leche presentan menores emisiones de metano entérico. Vermorel (1995) estudió la relación de diferentes niveles de producción de leche con la producción de metano de vacas francesas de pesos similares y sometidas a una misma dieta, se obtuvo que las vacas de alta producción presentaron un 15% más producción de metano entérico en comparación con los de baja producción.

c. Tamaño

Las emisiones de metano entérico están relacionadas al peso del animal (Dachraoui 2015). Machmüller y Clark (2006) realizaron estudios en bovinos y ovinos al pastoreo, cómo resultado del análisis se obtuvo la siguiente ecuación:

$$\text{CH}_4(\text{l/d})=3.58 \times \text{PV}^{0.75}, R^2=0.83$$

En ella se observa una relación directa entre el peso del animal y la producción de metano entérico, es así que a mayor peso del animal mayor será la producción de metano entérico.

2.5. ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA LA MITIGACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE GEI

Se han estado realizando diversas estrategias para mitigar la producción de GEI en la ganadería, entre ellas encontramos prácticas relacionadas al manejo de la alimentación animal, otras relacionadas al sistema de manejo en las unidades de explotación y otras que tienen por fin modificar el ecosistema ruminal del ganado. Según estudios anteriores se sabe que existe una relación entre la productividad animal y las emisiones de CH₄, por ello también se han desarrollado algunas estrategias que aumenten el nivel de productividad. Sin embargo, si bien han tenido efecto en el aumento de la productividad animal, no se han

obtenido grandes potenciales de mitigación de CH₄ cómo se muestra a continuación (Alayón-Gamboa *et al.* 2018).

Tabla 3: Estrategias de manejo animal que ofrecen una reducción en la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero distintas al CO₂.

| Categoría | Especie | Efecto en productividad | ¹ Potencial mitigación CH ₄ | ¹ Potencial mitigación N ₂ O | ² Recomendado |
|--|-------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| Promotores de crecimiento | Bovinos carne y cerdo | Incremento | Medio | Bajo | Si, depende de la regulación sanitaria para uso |
| Selección genética para consumo de alimento residual | Bovinos Carne, leche y cerdos | No | Bajo | Inconsistente | Si, requiere de mayor investigación |
| Mejora en Salud animal | Todas | Incremento | Bajo | Bajo | Si |
| Disminución de mortalidad animal | Todas | Incremento | Bajo | Bajo | Si |
| Reducción en días de alimentación y edad de sacrificio | Todas | No | Medio | Medio | Si |

¹alto = ≥ 30% mitigación; medio = 10 a 30% de mitigación; bajo = ≤10% de mitigación sobre una práctica estándar² basada en investigación disponible.

Fuente: Tomado de Alayón-Gamboa *et al.* (2018)

Cottle *et al.* (2011) sugieren que una primera forma para mitigar la producción de metano entérico sería enfocarse en la ecología y manipulación del rumen, en este punto se incluye el uso de aditivos y también mejoras en la calidad del forraje como viene a ser la prevalencia de ciertos pastos cultivados de mejor calidad para la alimentación del ganado. La suplementación viene a jugar un rol crucial en la reducción del volumen de CH₄ entérico emitido al ambiente por parte de la ganadería, dependiendo de las condiciones y posibilidades el productor puede incluir en la alimentación a los alimentos verdes, pastos arbóreos, fuentes de nitrógeno, calcio, fósforo, zinc, grasas, hormonas, entre otros (Hristov *et al.* 2013).

Sin embargo, no todas las estrategias son adoptadas por la totalidad de productores debido a que cada productor presenta realidades distintas. En su mayoría una estrategia que requiera mucha inversión de por medio y que no sea compensada por programas sociales del gobierno o por alguna institución en particular, muy probablemente no sea adoptada por un productor común de bajos recursos los cuales corresponden a la gran mayoría (Gerber *et al.* 2013a).

Considerando lo anterior, se sabe que la agroforestería es una de las estrategias a nivel de unidad de producción que tiene mayor factibilidad de adopción entre productores de ganado, por presentar muchos beneficios tanto productivos como económicos (Jiménez *et al.* 2015). El uso de árboles provee al productor de forraje para sus animales, leña, sombra, medicina y fertilización del suelo debido a que los árboles van a incorporar leguminosas fijadoras de nitrógeno y adicional a ello el uso de árboles va a reducir los efectos de la deforestación (Alayón-Gamboa *et al.* 2016). En el ámbito de los sistemas silvopastoriles, se conoce que el uso de cercos vivos se considera un tipo de estrategia para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (Alayón-Gamboa *et al.* 2016), debido a que el uso de estos promueve el almacenamiento de carbono en la superficie, además de mantener una humedad estable en el suelo y reducir la temperatura, todo ello conllevará a mejorar el flujo de CO₂ (Villanueva *et al.* 2015).

Otras estrategias planteadas por Cottle *et al.* (2011) hacen referencia al mejoramiento genético de los animales como también al cambio en las prácticas de manejo de la ganadería, enfocándose en mejorar los procesos de reproducción, manejo de pastoreo y engorde. Según un estudio realizado por Vargas *et al.* (2013) en fincas lecheras de Dos Pinos en Costa Rica, se identificó que la finca promedio suministra diariamente 4,5kg de concentrado y 1,2 kg de suplementos por animal, de igual forma se encontró que el 72,65% de las fincas del estudio presentaban sistema al pastoreo, de lo que se deduce que hubo mucho consumo de pastos en la dieta. Un estudio realizado por Baars (1998) en Costa Rica, identificó que, en zonas altas de dicho país, las fincas lecheras proporcionan una cantidad mayor de concentrados a los animales diariamente, en comparación con las fincas que se encuentran a menor altitud.

Por otro lado, los modificadores del sistema ruminal están enfocados en mejorar la digestión y aprovechamiento de los alimentos. De estos hay múltiples aditivos como los ionóforos, ácidos orgánicos, análogos de CH₄ halogenados, aceites insaturados, metabolitos

secundarios de las plantas (MSP), probióticos, vacunas contra metanógenos y más, cada uno de ellos presentarán sus ventajas y desventajas y dependerá de la decisión del productor la elección de su uso (Kamra *et al.* 2015).

En el caso de los MSP, estos vienen a ser los más importantes debido a las diversas ventajas que poseen como lo es la presencia de estos en forma natural en la vegetación, lo cual es una gran ventaja en comparación de los aditivos sintéticos ya que son más seguros. Otra ventaja es que poseen uso terapéutico y finalmente presentan un potencial de medio a alto en la inhibición del metano (Ku *et al.* 2013). En este sentido los taninos, un tipo de MSP, poseen propiedades bacteriostáticas y bactericidas por lo cual van a alterar la fermentación ruminal mediante la inactivación enzimática (Alayón-Gamboa *et al.* 2018).

Por otro lado, las saponinas van a tener efectos variados en la inhibición de metano entérico dependiendo de múltiples factores como son la dosis, composición química u origen (Alayón-Gamboa *et al.* 2018). De acuerdo a estudios recientes, su efecto en la inhibición del metano entérico va a estar relacionado a que con su adición en la dieta se produciría una reducción del número de protozoarios y/o una disminución en la actividad de las arqueas metanógenas (Alayón-Gamboa *et al.* 2018; Bhatta 2015).

2.6. METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO

INVERNADERO

En los últimos años se han desarrollado una serie de metodologías para poder cuantificar la cantidad de GEI que es emitida a la atmósfera, con el fin de poder elaborar estrategias para la mitigación de las emisiones de GEI. Existen técnicas analíticas que conllevan la utilización de la espectroscopia infrarroja, cromatografía de gases, espectroscopia de masa y técnicas de diodo láser (Johnson y Johnson 1995). En el caso de animales, específicamente de rumiantes que son los que emiten mayor cantidad de GEI a la atmósfera, se han desarrollado diversas técnicas como la calorimetría, uso de gases trazadores, colecta directa y método micrometeorológico (Bonilla *et al.* 2012). Además de las técnicas mencionadas, que son una forma más directa de medir los GEI, existe la metodología del IPCC que es utilizada para elaborar los inventarios nacionales, en él existen 3 niveles de acuerdo al número de datos que estén disponibles, siendo los niveles 2 y 3 los más sofisticados y precisos.

2.6.1. Medición directa

Existen técnicas para poder determinar la producción de gases de efecto invernadero directamente en el animal, las técnicas de respiración por calorimetría van a determinar la diferencia de concentraciones entre el aire inspirado y el expirado, así como el flujo de total de gases. Entre estas técnicas para la determinación de emisiones de gases tenemos a las cámaras respiratorias, máscaras faciales, cajas en la cabeza del animal, capuchas ventiladas, entre otros (Zúñiga 2016).

El método de la cámara respiratoria es considerado uno de los métodos más efectivos para la cuantificación de metano, usado incluso como “estándar” para validar otros métodos de medición de metano (Blaxter y Clapperton 1965; Román y Hernández 2016). Las cámaras determinan el flujo total de aire en el sistema y la diferencia en la concentración de metano entre el aire inspirado y el espirado. Es una de las técnicas más precisas para poder determinar el metano, debido a que se considera el metano proveniente de la fermentación ruminal, así como también al que se emite postruminalmente, además de que aporta información de variabilidad entre animales y condiciones de día o noche (Grainger *et al.* 2007). Este método tiene tal nivel de exactitud que no sólo sirve para determinar la cantidad de metano, sino además también puede medir y controlar muchos parámetros relacionados a la emisión de varios gases. (Tremblay y Massé 2008). Existen cámaras estáticas y dinámicas, las cámaras estáticas son las que no presentan entrada ni salida de aire por lo que son usadas para determinar emisiones procedentes de fuentes puntuales como el estiércol o emisiones de alguna superficie, no resulta factible su uso en animales dada la falta de renovación de aire. En el caso de las cámaras dinámicas existe al menos una entrada y una salida de aire por lo que puede ser utilizado en animales durante largos periodos de tiempo, este tipo de cámara tiene un sistema de medición de concentraciones muy preciso el cuál mide el flujo de aire y las concentraciones de entrada y salida de gases (Estellés 2007). Si bien la cámara respiratoria es una técnica muy precisa para medir gases, esta presenta dos grandes desventajas: el confinamiento obligatorio del animal y los altos costos de construcción y mantenimiento. El confinamiento ocasiona estrés en el animal y variación en su comportamiento habitual, alterando así su consumo y por ende refleja una variación en la emisión total de gases (Román y Hernández 2016).

Otra técnica directa son las máscaras faciales, si bien para la implementación de estas se necesita menos presupuesto, una desventaja sería que las máscaras faciales no miden las emisiones de metano de las fermentaciones postruminales. Ambas técnicas, tanto las cámaras respiratorias como las máscaras faciales tienen la desventaja de no poder emplearse en animales al pastoreo (Dachraoui 2015).

2.6.2. Medición indirecta

A causa de las deficiencias de la medición directa, se han desarrollado diversos métodos indirectos para la medición de gases, los cuáles se basan en el uso de gases trazadores, estas técnicas tienen la ventaja de que no van a alterar el comportamiento del animal en pastoreo (Pablo 2019), al respecto algunos autores como McCaughey et al. (1999) y De Ramus et al. (2003) sostienen en base a sus resultados que el uso de la técnica de gases trazadores ayuda a determinar entre el 93% y 98% de la totalidad de metano producido por el animal, en comparación con el sistema de cámaras respiratorias.

Los marcadores isotópicos utilizados para la medición de metano, como el ^3H o ^{14}C , presentan como principal limitante la reparación de la solución, debido a la baja solubilidad del metano. De esta forma, los gases trazadores utilizados como alternativa al uso de isótopos, han cobrado mayor relevancia.

La técnica de los gases trazadores se basa en una medición simultánea de dos gases, se mide simultáneamente en el aire expirado la concentración del gas que se quiere estudiar y la concentración del gas trazador, para que esta técnica funcione correctamente se debe conocer la tasa de liberación del gas trazador, posteriormente el gas trazador se hallará contenido en un tubo pre calibrado permeable y será situado en el rumen (Bonilla *et al.* 2012; Estellés 2007). El gas trazador debe ser químicamente estable, inerte, no inflamable ni explosivo a las concentraciones que se utiliza en el experimento, no tóxico y debe ser fácil de medir con precisión (Estellés 2007). Adicionalmente, en el caso de la estimación de metano, el gas trazador debe mezclarse muy fácilmente con el aire del rumen de la misma forma que el CH_4 . Entre los gases trazadores más usados tenemos: hexafluoruro de azufre (SF_6), dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O) (Bonilla *et al.* 2012).

La técnica del Hexafluoruro de Azufre (SF_6) fue desarrollada por Johnson y Johnson (1995) y es muy empleada en la medición de metano, esta técnica tiene como fundamento que el 99% del metano producido por el animal es exhalado por la boca y nariz (83% eructos y 16% aire exhalado) (Pablo 2019). Así mismo, Murray et al. (1976) sostienen que más del 95% del CH_4 es exhalado por las fosas nasales y el hocico del animal, por esta razón es tomado como un método altamente eficiente ya que considera casi la totalidad del metano producido por el animal (Pablo 2019). Esta técnica tiene como ventaja que puede ser utilizada en animales al pastoreo obteniendo estimados muy precisos y sin alterar el normal comportamiento del ganado, además puede ser usada de forma individual en cada animal lo cual favorece la investigación ya que permite realizar comparaciones de distintos índices (Bonilla *et al.* 2012).

Para la determinación de metano, se introduce una cápsula de SF_6 en el rumen, esta debe tener una tasa de liberación conocida, el trazador es liberado a través de los eructos del animal junto con el metano, se conoce la cantidad total de trazador liberado durante un lapso de tiempo determinado para la toma de muestras, esa cantidad es multiplicada por la razón de las concentraciones CH_4/SF_6 , obteniéndose finalmente el valor del metano emitido (Johnson y Johnson 1995; Pablo 2019).

Por otro lado, el óxido nitroso (N_2O) también es considerado un gas trazador. El óxido nitroso es utilizado para estimar las emisiones de metano, la tasa de emisión de CH_4 se determina teniendo en cuenta la relación $\text{CH}_4:\text{NO}_2$ y la tasa conocida de liberación de NO_2 . En este caso, es posible cuantificar simultáneamente ambos gases en el aire, las concentraciones finales de ambos gases pueden ser determinados fácilmente por cromatografía de gases (Bonilla *et al.* 2012; Dachraoui 2015).

2.6.3. Ecuaciones de predicción

Si bien existen formas indirectas de poder medir las emisiones de gases de efecto invernadero con marcadores isotópicos y no isotópicos como es el caso de la técnica de Hexafluoruro de azufre (SF_6), estas siguen teniendo un alto costo. Es por esa razón que se han desarrollado modelos matemáticos que permiten predecir las emisiones de los principales gases de efecto invernadero sin realizar experimentos extensos y costosos. Muchos autores citan modelos

basados en diferentes parámetros como el consumo de materia seca, energía bruta, energía digestible e incluso modelos basados en la composición de los alimentos.

En los últimos años el metano ha cobrado mucha relevancia en investigaciones debido a su fuerte impacto como GEI proveniente de la ganadería, es así que existe un gran interés de poder predecir las emisiones de metano usando modelos basados en datos ya existentes, provenientes de experimentos con animales llevados a cabo en cámaras de respiración, técnicas desarrolladas como la del Hexafluoruro de azufre, entre otras técnicas directas e indirectas que se han aplicado hasta el momento (Storm *et al.* 2012; Zúñiga 2016).

Tabla 4: Ecuaciones de predicción de metano desarrolladas a partir de mediciones en cámaras de respiración.

| Referencia | Ecuación | R ² | N |
|--|--|----------------|-----|
| IPCC (2006) ^a | CH ₄ (kg/dag) = GE (MJ/d) x Y _m /55,65 | | |
| Yan <i>et al.</i> (2006) ^b | CH ₄ (L/d) = 47,8 x DMI - 0,76 x DMI ² - 41 (kg/d) | 0.75 | 315 |
| Yan <i>et al.</i> (2006) ^{bc} | CH ₄ (L/d) = 0,34 x BW (kg) + 19,7 x DMI (kg/d) + 12 | 0.77 | 315 |
| Kirchgessner <i>et al.</i> (1994) ^d | CH ₄ (g/d) = 63 + 79 x CF + 10 x NFE + 26 x CP - 212 x Cfat (kg/d) | 0.69 | 24 |
| Jentsch <i>et al.</i> (2007) ^{de} | CH ₄ (Kj/d) = 1,62 x d_CP 0,38 x d_Cfat + 3,78 x d_CF + 1,49 x d_NFE + 1142 (g/d) | 0.90 | 337 |
| Ellis <i>et al.</i> (2007) | CH ₄ (MJ/d) = 0,14 x forage (%) + 8,6 | 0.56 | 89 |
| Mills <i>et al.</i> (2005) ^f | CH ₄ (MJ/d) = 0,07 x ME (MJ/d) + 8,25 | 0.55 | 159 |
| Mills <i>et al.</i> (2005) ^b | CH ₄ (MJ/d) = 0,92 x DMI (kg/d) + 5,93 | 0.60 | 159 |
| Mills <i>et al.</i> (2005) ^b | CH ₄ (MJ/d) = 10,3 x forage (%) + 0,87 x DMI (kg/d) + 1,1 | 0.61 | 159 |
| Grainger <i>et al.</i> (2007) ^b | CH ₄ (g/d) = 18,5 x DMI (kg/d) - 9,5 | 0.56 | 16 |

^aGE = consumo de energía bruta; Y_m = factor de emisión; ^bDMI = consumo de materia seca; ^cBW = peso corporal; ^dCF = fibra cruda; ENF = N-Extracto libre; CP = proteína cruda; Cfat = grasa cruda; ^e La ecuación se basa en cantidades digeridas que se designa con "d"; ^fME = ingesta de energía metabolizable.

Fuente: Tomado por Storm *et al.* (2012).

Al respecto, Storm *et al.* (2012) realizaron un estudio en el que sintetizaron de manera práctica los resultados de mediciones en cámaras de respiración obtenidos por varios autores. En la tabla 4 se puede observar diferencias considerables entre los distintos modelos en términos de complejidad en el requerimiento de datos, se puede visualizar modelos simples como el desarrollado por Ellis *et al.* (2007), en el cual sólo se requiere el porcentaje de forraje en la ración, hasta modelos más complejos que requieren datos de digestibilidad de diferentes nutrientes.

Además de los diversos investigadores que han establecido dichas ecuaciones de predicción, hoy en día también se encuentran programas que tienen como finalidad poder predecir las diversas emisiones de GEI, uno de ellos es el programa Life-Sim. Life-Sim se encarga de estimar las emisiones de GEI a través de distintas ecuaciones de modelación, entre los datos de entrada necesarios están la raza, peso, días de lactación, gestación, condiciones de alimentación, entre otras variables del animal y la dieta, con esos datos se obtiene el consumo de materia seca para posteriormente predecir las emisiones de GEI (Alvarado 2018).

2.6.4. Metodología del IPCC

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático (IPCC) es considerado como el principal organismo internacional encargado de la evaluación del cambio climático, este se fundó en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) con el propósito de brindar evaluaciones completas del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos acerca del cambio climático, su origen, repercusiones y estrategias de respuesta (Tubiello *et al.* 2015). Alrededor de miles y miles de científicos de todas partes del mundo aportan sus contribuciones voluntarias al IPCC, el cual examina y evalúa la más reciente bibliografía que se produce en el mundo, los cuáles son estudios relacionados con el cambio climático. De acuerdo al IPCC (2019) se clasifican los métodos relacionados al sector de Agricultura, Silvicultura y otros usos del Suelo en tres niveles, el Nivel 1 constituye al nivel más básico, el nivel 2 a un nivel intermedio y el nivel 3 a un nivel más avanzado y exigente en cuanto a requisitos de datos.

Para la determinación de emisión de metano entérico en base a la metodología del IPCC Tier I se hace uso de factores de emisión por cabeza de ganado (FE), los niveles de actividad provienen de inventarios ganaderos existentes y los factores de emisión son valores ya establecidos para cada región y sistema productivo, teniendo los datos anteriores se calcula la estimación de las emisiones de CH₄. En el Tier II el FE se determina de otra manera, el FE se calcula a partir de la ingesta de energía bruta (EB), el cual se obtiene a partir de los requerimientos de energía neta para lo cual es necesario realizar mediciones en el animal. Por otro lado, en el Tier III el FE se calcula a partir de técnicas de medición directa para las emisiones de GEI, utilizando procedimientos de estimación alternativos basados en una metodología específica del país (IPCC 2019; Morante 2016). Como se evidencia, el Tier I al ser muy básico se suele recomendar para especies animales en países en donde la

fermentación entérica no sea una categoría de fuente principal de emisión de metano, por ello se recomienda que para investigaciones lo más apropiado es hacer uso de los Tier II o III debido a que proveen estimaciones mucho más precisas lo cuál sería favorable al momento de desarrollar estrategias de mitigación de GEI (Negussie *et al.* 2017; Medrano 2019).

Para las emisiones de N₂O por manejo de estiércol, una metodología de nivel 2 debería usar las mismas ecuaciones de estimación que el nivel 1, con la diferencia que en el Nivel 2 se hace uso de información específica del país para algunas o todas las variables (IPCC 2019). Un ejemplo de ello sería el uso de tasa de excreción de nitrógeno específica del país.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este estudio es una investigación del tipo descriptivo ya que ninguna de las variables de estudio ha sido influenciada, sólo se recoge información de interés en varias muestras, en este caso se recogió información de los diferentes productores de ganado bovino en un área determinada para describir sus características. Asimismo, el diseño es comparativo, ya que se tomarán muestras de la época seca e inicios de lluvia.

También se le puede clasificar como un estudio cuantitativo porque los datos obtenidos son cuantificables numéricamente. Además, es prospectivo porque se posee el control del sesgo de medición (datos primarios). Finalmente se puede decir que es longitudinal porque se miden las variables en más de una ocasión.

3.2. LOCALIZACIÓN

El presente estudio se desarrolló en el distrito de San Pedro de Pilas el cuál es uno de los 33 distritos de la provincia de Yauyos, este distrito se encuentra ubicado al extremo noreste de la Provincia de Yauyos de la región Lima Provincias, en la parte alta de la cuenca del Río Omas, a una altitud media de 2600 m.s.n.m (SENAMHI 2015). Sus coordenadas geográficas son 12°27'16"S 76°13'36"O, este limita por el norte y oeste con Omas, por el este con Ayauca y por el sur con Tauripampa (Comeca y La Torre 2010). Dicho distrito tiene una superficie de 97.39 km² y cuenta con las poblaciones de San Pedro de Pilas, San Mateo y San Juan de Chilla.

El distrito de San Pedro de Pilas tiene una población actual aproximada de 311 habitantes (INEI 2017). Asimismo se ha observado que su población a través de los años ha ido reduciéndose, esto se puede comprobar a través de los censos realizados con anterioridad cómo es el caso del censo del 2007 el cuál mostraba una población de 418 habitantes, una cifra mayor que la situación actual.



Figura 3. Mapa de la provincia de Yauyos y el distrito de San Pedro de Pilas

Fuente: www.destinoyauyos.blogspot.com

3.3. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO

Los objetivos del presente estudio fueron estimar las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de vacas lactantes, específicamente de CH_4 y N_2O , en las épocas seca e inicio de lluvias en el distrito de San Pedro de Pilas, provincia de Yauyos. En este sentido, para estimar dichos valores se ha hecho uso de la Metodología del IPCC (2019) nivel 2. Además, también se emplearon ecuaciones de predicción adicionales previas para el cálculo del CMS, Y_m y Energía Digestible.

El presente estudio se desarrolló en dos épocas, época seca y época de inicio de lluvias, durante las cuáles se seleccionó una muestra de 7 productores diferentes para cada época. La recolección de información mediante encuestas y mediciones en los animales se dio en cada productor. Asimismo, se recolectó una muestra de leche por productor en cada época (14 muestras), una muestra de heces por productor durante la época seca (7 muestras) y una muestra representativa de pasto cultivado y pasto natural por época (2 muestras de pasto natural y 2 muestras de pasto cultivado). Las muestras de pastos y heces fueron llevadas al

Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) para su respectivo análisis. Por otro lado, las muestras de leche fueron analizadas en el Laboratorio de Leche y Carne de la UNALM.

Para la descripción del sistema productivo de San Pedro de Pilas se utilizó la información recolectada, proveniente de las encuestas de 7 productores en época seca y 7 productores en época de inicio de lluvias. Estas estuvieron relacionadas con el tipo de alimentación, periodo de alimentación con pastos cultivados y naturales, características de los animales, así como también sobre el manejo de excretas.

Luego de realizar los cálculos de estimación de CH₄, N₂O y GEI, se compararon las estimaciones provenientes de las 7 muestras de época seca y las 7 muestras de época de inicio de lluvias. Cabe recalcar que el valor de digestibilidad usado en el cálculo de las estimaciones, es proveniente de una muestra compuesta de la dieta por cada época. Para realizar la comparación de los diferentes gases de efecto invernadero se empleó la prueba T-Student para datos independientes, debido a que los 7 productores de época seca fueron diferentes de los productores de época de inicio de lluvias. Los resultados de las emisiones de CH₄ y GEI fueron expresados en términos de kg CO₂-eq por vaca y kg CO₂-eq por kg de leche. En el caso de las emisiones de N₂O, estas se derivan del estiércol de la vaca, es por ello que estas emisiones se expresaron en términos de kg CO₂-eq por vaca y kg CO₂-eq por kg de estiércol.

3.4. CRITERIOS DE SELECCIÓN

En el caso de los productores de ganado Brown Swiss, se tomaron ciertos puntos en cuenta:

- Son productores de ganado lechero.
- Se escogió al azar a 7 productores que tengan a las vacas en la comunidad, se excluyó a los que tengan a las vacas en alturas.

En el caso de vacas en lactación:

- Se excluyó vacas cojas
- Se excluyó vacas muy ariscas por dificultar el manejo
- Se incluyó vacas de diferentes niveles de lactación
- De las vacas aptas se tomaron 5 vacas al azar para la toma de muestras por productor.

3.5. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La recopilación de información se realizó durante el mes de agosto para la época seca y durante el mes de diciembre para la época de inicio de lluvias. Estos datos provinieron de 14 productores en total, 7 en época seca y 7 en época de inicio de lluvias, la selección fue al azar. La información fue recopilada de encuestas, mediciones en el animal, así como también de muestras de leche, heces y pastos.

3.5.1. Encuestas

Se construyó una encuesta en la cual se adicionaron ítems de interés necesarios para la estimación de gases de efecto invernadero, además también se incluyó preguntas relacionadas al sistema productivo de San Pedro de Pilas (Anexo 17). Los productores fueron encuestados al inicio del experimento. Sin embargo, en muchas ocasiones el productor no proporcionó la información completa al inicio, es por ello que se fue recogiendo la información pendiente durante conversaciones recurrentes con los productores. La encuesta incluyó preguntas como número de vacas en lactación, número de vacas en seca, número de ordeños al día, producción promedio de leche, peso vivo, composición de la dieta, número de días de pastoreo de pastos cultivados y naturales, número de cortes al año, entre otras. También se realizaron preguntas abiertas relacionadas al tipo de manejo de las excretas del animal y características del sistema productivo. Para el pesaje de las vacas lactantes se empleó una cinta bovinométrica, esta actividad fue realizada con ayuda de los productores quienes apoyaron con el manejo del ganado. Para el dato de producción de leche diaria promedio, se midió la producción de 5 vacas por productor por medio de una balanza de mano.

3.5.2. Toma de muestras de pastos, heces y leche

- **Pastos**

La recolección de muestras de pastos se realizó después del ordeño, durante pastoreo (9:00 am) bajo el método de simulación manual (Austim 2019). El muestreo de pastos se realizó tanto en la época seca como en la época de inicio de lluvias. Este método consistió en observar el comportamiento de consumo de la vaca, para ello se hizo seguimiento a 5 vacas por productor y se recolectó manualmente la simulación de 20 bocados por vaca, al finalizar

el día se juntó todo el pasto recolectado por productor en una sola bolsa de papel. Aquello se replicó durante 5 días, al finalizar el quinto día se juntó todo el pasto recolectado por productor y se mezcló homogéneamente para finalmente obtener una muestra representativa por productor de 1 kg. En vista de que todos los animales fueron alimentados en el mismo campo de pastoreo, se juntaron los 7kg de muestras de pastos provenientes de los 7 productores, se mezcló homogéneamente y se obtuvo una muestra representativa final de 1kg por época, la cuál fue llevada a laboratorio para su análisis. Se realizó el mismo procedimiento para el pasto cultivado. Finalmente, se envió a laboratorio 2 muestras representativas de pasto natural y 2 muestras representativas de pasto cultivado, uno por época.

Para la determinación de la dieta se consideró el número de días de pastoreo en pasto natural y en pasto cultivado durante cada época, esa información provino de las encuestas. Teniendo el análisis químico del pastizal y del pasto cultivado, se ponderó los resultados obtenidos por época. De esta manera, se obtuvo una muestra compuesta de la dieta para la época seca y otra para la época de inicio de lluvias. Para la determinación de la dieta se usó la siguiente ecuación:

$$NUT_{DIETA} (\%) = (D_{PN} * NUT_{PN} (\%) + D_{PC} * NUT_{PC} (\%)) / (D_{PN} + D_{PC})$$

Donde: NUT_{DIETA} = Porcentaje del nutriente X en la dieta, %
 NUT_{PN} = Porcentaje del nutriente X en el pasto natural, %
 NUT_{PC} = Porcentaje del nutriente X en el pasto cultivado, %
 D_{PN} = Número de días de pastoreo en pasto natural, días
 D_{PC} = Número de días de pastoreo en pasto cultivado, días

- **Heces**

La toma de muestras de heces se realizó en los corrales después del pastoreo. Para la recolección de muestras de heces se utilizó la metodología descrita por Gracia et al. (2006), que consiste en recoger las heces directamente del recto del animal para lo cual se usó un guante de inseminación en cada caso. Se colectó heces en 5 vacas por productor, se mezcló las 5 muestras en una bolsa plástica limpia y se colocó en un contenedor con geles, a una temperatura de 4°C. Finalmente se tuvo una muestra compuesta por productor siendo un total

de 7 muestras llevadas a analizar a laboratorio, la recolección de heces sólo se realizó durante la época seca.

- **Leche**

La toma de muestras de leche se realizó en horas de la mañana (7:00 am) durante el único ordeño del día. Las vacas fueron ordeñadas manualmente por los ganaderos, juntando la leche de todas sus vacas en un solo recipiente grande. Es por ello que la leche proviene de vacas en alta, media y baja producción. Durante el ordeño se registró la producción de leche de las vacas y al finalizar el ordeño se tomó una muestra de leche del recipiente grande. La muestra se refrigeró a 4°C y el mismo procedimiento se repitió durante 5 días. Al finalizar la colecta se juntó las muestras de los 5 días de cada productor obteniéndose una muestra representativa por productor para cada época. De esta forma se obtuvo finalmente 7 muestras en época seca y 7 muestras en época de inicio de lluvias. Al finalizar el quinto día de colecta se refrigeró en un contenedor con gel refrigerante y fue enviado directamente al Laboratorio de Leche y Carne de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Debido a las características del sistema productivo, se diferenciaron dos niveles de producción de leche por época. Cuando las vacas se encontraban en la comunidad eran ordeñadas completamente, sólo se usó al ternero como estímulo en el ordeño, el ternero consumió la leche de la madre apenas al finalizar el ordeño. Por otro lado, cuando las vacas estaban en altura no se ordeñaron, en este escenario se estimó que la producción de leche para la alimentación del ternero fue la cuarta parte de la producción de leche registrada en la comunidad. Para obtener la producción de leche promedio por productor se ponderó considerando el número de días en la comunidad y el número de días en alturas.

3.5.3. Análisis de laboratorio

- **Análisis de muestras de pastos**

Los diversos análisis para muestras de pastos se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) perteneciente a la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), mediante las metodologías de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC 2005). El laboratorio reportó los resultados de las 4 muestras mandadas a analizar, 2 de época seca y 2 de época de inicio de lluvias, siendo una muestra de pasto

natural y una de pasto cultivado por cada época. El LENA realizó el análisis químico proximal de las muestras de pastos, contenido de FDN y FDA. Por otro lado, también se analizó la digestibilidad in vitro de la materia seca de las 4 muestras. Finalmente, se analizó el contenido de energía bruta de la pastura, valor que fue importante para el posterior cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de la energía bruta, otro valor importante para el estudio fue el contenido de energía metabolizable para vacunos, el LENA también proporcionó esta información, el cual calculó mediante ecuaciones de predicción.

- **Análisis de muestras de heces**

Las muestras de heces fueron analizadas en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), mediante las metodologías de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2005). En el caso de las excretas se realizó un procedimiento adicional previo al análisis de las muestras, se trata de la desinfección de las heces por autoclave. Fueron 7 muestras analizadas en total, todas pertenecientes a la época seca. El único componente nutricional de interés fue el contenido de proteína cruda, en cuál se obtuvo en laboratorio mediante el método Semi Micro Kjeldahl. El contenido de proteína cruda en heces fue usado posteriormente para contrastar el nivel de nitrógeno excretado por animal en el presente estudio.

- **Análisis de muestras de leche**

Para el análisis de la composición de las muestras de leche, se llevaron las muestras al Laboratorio de Leche y Carne perteneciente a la UNALM. Ahí se analizó su composición mediante el uso del Equipo Milko Scan “FOSS”, tecnología de análisis de leche por rayos infrarrojos. Como resultado se obtuvo el contenido de grasa cruda, proteína cruda, sólidos no grasos, sólidos totales y lactosa en las muestras de leche. También el laboratorio reportó el contenido de úrea en leche y la densidad de las muestras.

3.6. CUANTIFICACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

El cálculo de la estimación de los distintos gases de efecto invernadero se basó en la metodología del IPCC (2019). El cálculo de las emisiones se restringió a las emisiones producidas por el animal y por sus excretas. Es decir, no se consideró las emisiones provenientes de otros procesos productivos como manejo de cultivos, maquinaria, etc. En

este sentido, las emisiones se expresaron por animal y por kilogramo de leche. A diferencia del óxido nitroso, cuyas emisiones se expresaron por animal y por kilogramo de excreta.

Finalmente, las estimaciones se realizaron para una sola categoría de ganado la cuál es vaca lactante.

3.6.1. Emisiones de metano

- **Metano por fermentación entérica**

Para realizar estas estimaciones de emisiones de CH₄ entérico se tomó como base las ecuaciones propuestas por el nivel 2 del refinamiento de IPCC (2019). Además, también se usaron otras ecuaciones de predicción para el cálculo de consumo, energía digestible y Y_m. De esta forma tenemos:

$$EF = \frac{[EBx \left(\frac{Y_m}{100}\right) * 365]}{55,65}$$

Siendo:

EF = factor de emisión de metano, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

EB = Consumo de energía bruta, MJ cabeza⁻¹ día⁻¹

Y_m = Factor de conversión de metano

El factor 55.65 (MJ/kg CH₄) es el contenido de energía del metano.

El consumo de energía bruta (EB) se obtuvo a partir del CMS:

$$EB = (CMS) * (E^o \text{ bruta})$$

Donde: EB = Consumo de energía bruta, MJ cabeza⁻¹ año⁻¹

CMS = Consumo de materia seca, Kg cabeza⁻¹ año⁻¹

E^o Bruta = energía bruta del alimento, MJ por Kg de alimento.

El consumo de materia seca de forraje fue estimado mediante los datos de peso vivo del animal y datos de nivel de producción, para ello se usó la siguiente ecuación propuesta por el NRC (2001):

$$CMS = (0.372 \times LCG \text{ 4\%} + 0.0968 \times PV^{0.75}) \times (1 - e^{(-0.192 \times (SL+3.67))})$$

Donde:

LCG = leche corregida por grasa al 4%

PV= peso vivo de la vaca

SL= semanas de lactancia

e= 2.71828

Para el cálculo de Ym se usó la siguiente ecuación (Cambra et al. 2008):

$$Ym = -0,0038xDE^2 + 0,3501xDE - 0,8111$$

Donde: Ym = factor de conversión de metano, expresado como porcentaje de la E° bruta que se transforma en metano.

DE = Digestibilidad de la energía, %ED

Para esto se tuvo presente que la digestibilidad de la energía (DE) es igual a la relación de la energía digestible sobre la energía bruta.

Para obtener el valor de energía digestible, se usó la siguiente ecuación (Vermorel y Coulon 1998):

$$E^{\circ} \text{ Digestible } \left(\frac{MJ}{kgMS} \right) = \left(\frac{EM + 1.9}{1.01} \right)$$

Siendo: EM= Energía metabolizable para vacunos, MJ/kg MS

El valor de energía bruta y el valor de energía metabolizable fueron obtenidos del análisis químico de las muestras de pastos. Se asume que la unidad de la energía es MJ, para ello se convirtió los resultados de laboratorio a MJ (1 Mcal = 4.184 MJ).

- **Emisión de metano por manejo de estiércol**

El cálculo de metano proveniente del estiércol se calculó usando la siguiente fórmula planteada por el IPCC (2019):

$$EF = (SV * 365) * [B_o * 0.67 * \sum \left(\frac{MCF * AWMS}{100} \right)]$$

Donde:

EF= Factor de emisión anual de CH₄ para la categoría de ganado T, kg CH₄ vaca⁻¹ año⁻¹

VS_(T) = Sólidos volátiles excretados al día para la categoría de ganado T, kg MS vaca⁻¹ día⁻¹

365 = Base para el cálculo de la producción anual de VS, días año⁻¹

B_{o(T)} = Capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado de la categoría T, m³ CH₄ por kg SV

0.67 = Factor de conversión de m³ de CH₄ a kilogramos de CH₄

MCF_(S,k) = Factor de conversión de metano para cada sistema de gestión de estiércol S en la región climática k, %

AWMS_(T,S,k) = Fracción del estiércol del ganado de la categoría T manejado usando el sistema de gestión de desechos S en la región climática k, adimensional

3.6.2. Emisiones de Óxido nitroso (N₂O)

Las emisiones de óxido nitroso provienen de la producción de heces y orina del animal. En este sentido, se pueden obtener emisiones derivadas del manejo de estiércol y del N de la orina y heces depositados en pastos. Las emisiones de N₂O por parte de la ganadería bovina fueron calculadas mediante las fórmulas de nivel 2 del IPCC (2019). De esta forma se tiene:

a. Emisiones de N₂O derivadas de la gestión de estiércol

- **Emisiones directas de N₂O**

$$N_2O = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{ex} * AWMS_{(T,S)}) \right] * EF_{3(MMS)} \right] \frac{44}{28}$$

Donde:

N_2O = Emisiones directas de N_2O de la gestión de estiércol, $kg N_2O animal^{-1} año^{-1}$

N_{ex} = Promedio anual de N excretado por cabeza al año, $kg N animal^{-1} año^{-1}$

$EF_{3 MMS}$ = factor de emisión para emisiones directas de N_2O de un sistema de gestión de estiércol, $kg N_2O-N/kg N$

$AWMS_{(T,S)}$ = fracción de la excreción total anual de N para cada categoría de ganado T que es manejado en un sistema S de gestión de estiércol, adimensional

S = sistema de gestión de estiércol

T = categoría de ganado

44/28 = factor de conversión de emisiones de $N_2O-N_{(mm)}$ a emisiones de $N_2O_{(mm)}$

- **Emisiones indirectas de N_2O**

Para el cálculo de óxido nitroso proveniente de la volatilización de N de la gestión de estiércol, se aplicó la siguiente ecuación:

$$N_2O = \sum (FRAC_{GAS} * AWMS_S * N_{ex}) * EF_4 * \frac{44}{28}$$

Donde:

N_2O = Emisiones indirectas de N_2O debido a la volatilización de N de la gestión de estiércol, $kg N_2O/año$

N_{ex} = Cantidad de nitrógeno excretado, $kg N/vaca/año$

$FRAC_{gas}$ = Porcentaje de N proveniente de la gestión de estiércol que se volatiliza como NH_3 y NO_x en un sistema determinado de gestión de estiércol.

$AWMS_S$ = Fracción de la excreción total anual de N de un sistema S de gestión de estiércol

EF_4 = Factor de emisión para emisiones de N_2O de la deposición atmosférica de N en la superficie de suelo o del agua

b. Emisiones de N_2O derivadas del N de orina y heces depositado en pastos

Las emisiones se calcularon considerando únicamente las excretas del animal, estas excretas al depositarse en las pasturas producirán óxido nitroso de forma directa e indirecta. No se incluyó algún otro tipo de manejo de suelos porque distaría de la realidad.

- **Emisiones directas de N₂O**

$$N_2O = N_{ex} * FRA_{pas} * EF_3 * \frac{44}{28}$$

Donde:

N₂O = Emisiones directas de N₂O debido a las heces y orina depositada en pasturas, kg N₂O año⁻¹

N_{ex} = N excretado, Kg N animal⁻¹ día⁻¹

FRA_{pas} = Fracción de orina y heces depositada en pasturas, adimensional

EF₃ = factor de emisión para emisiones directas de N₂O de un sistema de gestión de estiércol, kg N₂O-N/kg N

- **Emisiones indirectas de N₂O debido a la volatilización**

$$N_2O = N_{ex} * FRA_{pas} * FRAC_{gas} * EF_4 * \frac{44}{28}$$

Donde:

N_{ex} = N excretado (kg N vaca / año)

FRA_{pas} = Fracción de orina y heces depositada en pasturas

FRAC_{gas} = Porcentaje de N proveniente de la gestión de estiércol que se volatiliza como NH₃ y NO_x en un sistema determinado de gestión de estiércol (deposito en pasturas)

EF₄ = Factor de emisión para emisiones de N₂O de la deposición atmosférica de N en la superficie de suelo o del agua

- **Emisiones indirectas de N₂O debido a la lixiviación y escorrentía**

$$N_2O_{L(mm)} = N_{ex} * FRA_{pas} * FRAC_{leach} * EF_5 * \frac{44}{28}$$

Donde:

N₂O_{L(mm)} = Emisiones indirectas de N₂O provenientes de la lixiviación y escorrentía del estiércol y orina depositada en pasturas, kg N₂O año⁻¹

N_{ex} = N excretado, kg N animal⁻¹ año⁻¹

$FRAC_{leach}$ = Fracción que se pierde por lixiviación

EF_5 = Factor de emisión para emisiones de N_2O por lixiviación y escurrimiento de N, kg N_2O-N/kg N lixiviado o escurrido

FRA_{pas} = Fracción de orina y heces depositada en pasturas

3.9.3. Emisiones de GEI en términos de CO_2 -eq

Para obtener la suma total de GEI, fue necesario convertir las emisiones de óxido nitroso y metano en valores de CO_2 -eq, para ello se utilizó los valores de potencial de calentamiento global (GWP) propuestos por Myhre et al. (2013). Estos fueron 28 para CH_4 y 265 para N_2O .

Después de haber obtenido previamente las emisiones de CH_4 y N_2O en términos de CO_2 -eq, ambas emisiones se sumaron para obtener las emisiones totales de GEI en términos de CO_2 -eq. De esta forma se obtuvo un panorama global de las emisiones totales de GEI y se expresaron por kg de leche y por vaca al día.

$$\text{Emisiones de GEI (CO}_2\text{ - eq)} = 1 * CO_2 + 28 * CH_4 + 265 * N_2O$$

3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el presente estudio se quiso comparar los resultados provenientes de 7 muestras independientes en dos épocas de evaluación. Para comparar dichas muestras, las cuáles fueron provenientes de las emisiones de CH_4 , N_2O y GEI, así como la composición química de la leche y consumo de alimento, se aplicó inferencia basada en muestras independientes (prueba t-STUDENT). Asimismo, se realizó la validación de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, la prueba de normalidad se probó mediante el test Anderson-Darling y el supuesto de normalidad con la prueba de Levene, para el respectivo análisis estadístico se utilizó el software Minitab 18.

$$t = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2}{S_{X_1X_2} * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$S_{X_1X_2} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_{X_1}^2 + (n_2 - 1)S_{X_2}^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Donde:

t = Valor estadístico del procedimiento

$X_1 - X_2$ = Valor promedio o media aritmética de las diferencias entre las dos épocas de precipitación

$S_{X_1-X_2}$ = Desviación estándar entre las dos épocas de precipitación

$n_1 - n_2$ = Tamaño de muestra de cada época de precipitación

Finalmente, para comparar la composición química de los pastos en las dos épocas de evaluación, no se realizó la prueba T-Student debido a que los datos obtenidos son de una muestra compuesta proveniente de los 7 productores para cada época

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN BOVINA EN SAN PEDRO DE PILAS

El sistema productivo de los pequeños hatos en el distrito de San Pedro de Pilas es netamente extensivo con un tipo de pastoreo continuo, las vacas no consumen ningún tipo de concentrado. Las vacas se alimentan principalmente de pastos naturales de la zona por alrededor de 315 días al año y pastos cultivados en promedio por 50 días al año, cómo se puede observar en la Tabla 5. De esta manera, el pasto cultivado constituye en promedio el 13.7% de su dieta. El pasto natural característico que se encontró en el distrito fue la *Avena fatua* L., además también se diferenció otras especies cómo *Bromus catharticus*, *Calamagrostis antoniana*, *Muhlebergia peruviana*. La especie principal de pasto cultivado encontrado en San Pedro de Pilas fue la Alfalfa (*Medicago sativa*), adicional de esta también se encontró otras especies en menor escala cómo lo son la lengua de vaca (*Rumex crispus*), kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), entre otros. Si bien hubo presencia de pasto cultivado en la dieta del animal, fue en muy poca cantidad debido al pequeño tamaño de las parcelas. Asimismo, se debe considerar que la disponibilidad de pasto cultivado varió entre épocas cómo se muestra en la Tabla 6.

El número de vacas por productor varió de 6 a 22. Para este estudio sólo se trabajó con vacas lactantes, las cuáles son cruces de raza Brown Swiss con ganado criollo. Las vacas tuvieron un peso vivo promedio de 456 kg en época seca y 463 kg en época de inicio de lluvias. Además de una producción de leche diaria de 3.0 kg y 4.2 kg en época seca e inicio de lluvias, respectivamente. Es importante mencionar que existen dos momentos diferentes en la producción de leche. Cuando las vacas se encuentran en la comunidad, se ordeña toda la leche producida por la ubre. Sin embargo, cuándo las vacas se encuentran en altura no se les ordeña, la leche sólo es destinada al ternero lo cual se consideró la cuarta parte de la producción de leche diaria registrada. Por ese motivo fue necesario tener conocimiento del número de días promedio en los que la vaca estaba en la comunidad y en las alturas. Además, es importante indicar que los ganaderos realizan solamente un ordeño al día y lo hacen de forma manual.

Finalmente, no existe un manejo adecuado de los residuos sólidos de los animales, el mismo es depositado en los pastos durante el pastoreo del ganado, tampoco se hace el uso de fertilizantes sintéticos. El pasto es consumido fresco y ad libitum por el animal, tampoco se realiza ningún método de conservación de pastos para la época seca.

Tabla 5: Días de pastoreo en pasto cultivado y natural

| | ÉPOCA SECA | | INICIO DE LLUVIAS | | ÉPOCA LLUVIOSA | |
|-----------------|------------|------|-------------------|------|----------------|------|
| | Días | % | Días | % | Días | % |
| Pasto cultivado | 30 | 16.4 | 10 | 16.1 | 10 | 8.3 |
| Pasto natural | 153 | 83.6 | 52 | 83.9 | 110 | 91.7 |
| Total | 183 | 100 | 62 | 100 | 120 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Disponibilidad de pasto natural y cultivado durante el año

| | SECA | | | | | | INICIO DE LLUVIA | | LLUVIOSA | | | |
|-------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|-----|----------|-----|-----|-----|
| | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May |
| Pasto Natural | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Pasto Cultivado * | X | | X | | X | | X | | | | X | |

* Pasto cultivado 10 días en promedio por corte

Fuente: Elaboración propia

4.2. CONSUMO DE ALIMENTO Y ANÁLISIS DE PASTOS, HECES Y LECHE

4.2.1 Análisis de la composición nutricional de los pastos para cada época en el distrito de San Pedro de Pilas

Los resultados de los componentes de la dieta de las vacas durante la época seca e inicios de lluvia se muestran en la Tabla 7. El contenido de proteína cruda es ligeramente superior en la época seca con un 6.17%. Sin embargo, tanto la época seca como la época de inicio de lluvias muestra valores menores al 7%. Respecto a lo anterior, se corre el riesgo de que el bajo nivel de proteína cruda de las pasturas afecte el consumo de materia seca (Milford y Minson (1966). Medrano (2019) reportó un mayor porcentaje de PC durante la época lluviosa en pastizales altoandinos, resultado que difiere con este estudio. Por otro lado, Otoya (1986) en su estudio realizado con *Brachiaria decumbens*, obtuvo un porcentaje de PC superior durante la época lluviosa en sus pasturas respectivas. En un estudio realizado por

Cantaro (2018) en pastizales de la Sierra Central del Perú, se reportó un porcentaje de PC de 8.1 % para la época lluviosa, el cual representa un mayor contenido de proteína cruda que las pasturas de San Pedro de Pilas. Asimismo, Cáceres et al. (1996) también reportaron un contenido promedio más alto para la época lluviosa, de 10.3 % de proteína cruda. En cuanto al contenido de ceniza de la dieta, fue superior durante la época seca con un 6.94%.

Tabla 7: Análisis proximal y digestibilidad de pastos en las épocas seca e inicios de lluvia

| Valor nutricional de pastos | Época seca | Época de inicio de lluvia |
|--|------------|---------------------------|
| Proteína Total (N x 6,25), % | 6.17 | 5.48 |
| Grasa cruda, % | 1,53 | 0,68 |
| Fibra Cruda, % | 31,44 | 44,53 |
| Ceniza, % | 6,94 | 4.19 |
| ELN, % | 53.92 | 45,13 |
| Energía total, (Kcal/Kg MS) | 3877,76 | 4313,39 |
| Fibra detergente ácido - FDA, % | 36.40 | 50.43 |
| Fibra detergente neutro - FDN, % | 61.07 | 65.60 |
| Dig. In vitro Ap. M.S, % | 43.14 | 61.38 |
| NDT Calculado para vacunos, %M.S. | 58,89 | 53.40 |
| Energía metabolizable para vacunos, Mcal/Kg M.S. | 1.90 | 1,93 |

ELN: extracto libre de nitrógeno; NDT: nutrientes digestibles totales.

Fuente: Elaboración propia

El contenido de FDN de la dieta durante la época de inicios de lluvia fue de 65.6%, valor que fue superior al de la época seca, 61.07%. Medrano (2019) obtuvo valores similares de FDN, siendo estos 67.69% durante la época lluviosa y 66% durante la época seca, siguiendo de esta manera la tendencia de un mayor porcentaje de FDN durante la época lluviosa o inicio de lluvias. Al respecto, ambos estudios fueron realizados en pastos naturales considerado cómo la fuente principal de la dieta. Otro estudio realizado en Sierra Central por Cantaro (2018), en dietas basadas en pastizales naturales, reportó 66.47 % de FDN para la época lluviosa. Dicho valor se asemeja al presente estudio si consideramos a la estación lluviosa e inicio de lluvias cómo similares. Asimismo, otros estudios realizados en pastizales naturales muestran valores superiores de FDN y menores en contenido de PC para la época lluviosa (Cáceres et al. 1996; Flores et al. 2005). En términos generales, el contenido de FDN está inversamente relacionado con el contenido de PC de los pastos, es por ello que en

este estudio se puede evidenciar un aumento del contenido de FDN para la época de inicio de lluvias (Quispe 2016).

También se analizó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, durante la época de inicio de lluvias se obtuvo un valor de 61.38% el cuál fue superior al análisis de DIVMS realizado durante la época seca, cuyo valor fue de 43.14%. Otoyá (1986) en un estudio realizado con *Brachiaria decumbens* reportó mayor digestibilidad de la pastura durante la época lluviosa, en este caso se analizó la digestibilidad *in situ*. Al igual que en el presente estudio, Medrano (2019) también reportó una digestibilidad mayor durante la época lluviosa (478,2 g/ kgMS) para pastizales altoandinos.

El contenido de energía bruta de la dieta fue superior en época de inicios de lluvia con 4313 kcal/ kg MS en comparación con la época seca donde obtuvo un valor de 3877 kcal/ kg MS. Los resultados del estudio, al ser presentados como MJ fueron 18.02 MJ/ kg MS y 16.17 MJ/ kg MS, respectivamente. Medrano (2019) reportó 17.5 MJ/kg MS en época lluviosa y 17.3 MJ/kg MS en época seca para pastizales altoandinos. Dichos valores son ligeramente superiores para la época lluviosa al igual que en el presente estudio. Finalmente, también se obtuvo valores de energía metabolizable, siendo superior en la época de inicio de lluvia con 1.9 Mcal/kg MS en comparación con la época seca, donde fue 1.8 Mcal/kg MS. Asimismo, Cáceres *et al.* (1989) reportaron valores superiores de energía metabolizable para la época lluviosa.

4.2.2. Producción y composición de leche

Los resultados mostrados en la Tabla 8 detallan la composición química de la leche, así como también el nivel de producción. El nivel de producción de leche durante la época seca fue de 3.0 kg/d, mientras que en la época de inicio de lluvias se obtuvo una producción media superior ($p < 0.05$) de 4.2 kg/d. Asimismo, el valor de LCG 4% también fue superior ($p < 0.05$) durante la época de inicio de lluvias con una producción de 4.4 kg/d. Medrano (2019) registró una producción de leche menor en zonas altoandinas. Sin embargo, siguió con la tendencia de presentar una mayor producción de leche en época lluviosa, siendo este 2.8 kg/d. En cuanto a la producción de grasa diaria, los análisis revelan que fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en la época de inicio de lluvias con 180.5 gr/día. La cantidad de grasa diaria varía dependiendo del nivel de producción de leche y el porcentaje de grasa de la leche.

Tabla 8: Producción y composición de leche en vacas en lactación durante las épocas seca e inicio de lluvias

| Parámetros | ÉPOCA | | P-value |
|---------------------------|----------------|-------------------|---------|
| | Seca | Inicios de lluvia | |
| Producción de leche, Kg/d | 2.988 ± 0,128 | 4.215 ± 0,229 | 0.000 |
| Producción de grasa, g/d | 136.3 ± 30.3 | 180.5 ± 28.6 | 0.016 |
| LCG 4%, Kg/d | 3.239 ± 0,8320 | 4.393 ± 0,452 | 0.000 |
| Grasa, % | 4,574 ± 1,079 | 4,289 ± 0,6917 | 0.566 |
| SNG % | 8,27 ± 0,4286 | 8,526 ± 0,3203 | 0.230 |
| ST, % | 12,84 ± 1,162 | 12,81 ± 0,6789 | 0.954 |
| PT, % | 4,206 ± 0,3714 | 4,119 ± 0,2122 | 0.600 |
| Lactosa, % | 4,683 ± 0,1344 | 4,626 ± 0,2191 | 0.567 |

*Nivel de significancia de 0.05. LCG 4%: Leche corregida por grasa 4%; SNG: Sólidos no grasos; ST: Sólidos totales.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el porcentaje de los otros componentes como grasa, SNG, ST, proteína y lactosa no presentaron diferencias entre ambas épocas. El porcentaje promedio de grasa fue 4.4%, el de SNG fue 8.415%, el de ST fue 12.8%, el de PT fue 4.15% y el de lactosa fue 4.6%. En un estudio realizado en el Valle del Mantaro se obtuvo valores promedio de porcentaje de grasa de 3.73%, SNG de 8.18%, ST de 11.91%, PT de 3.39% y lactosa de 4.17% (Viera 2013). Dichos valores fueron ligeramente inferiores a los obtenidos en el presente estudio, debiéndose probablemente a la composición nutricional de la dieta y a su menor contenido de FDN. Respecto a lo anterior se establece una relación, una mayor producción de acetato origina un menor contenido de grasa en leche (Uribe 2008; Church 1993).

4.2.3. Análisis químico de excretas

En el presente estudio se analizó el porcentaje de PC de las excretas. Dicho promedio fue de 11.44 % en base seca, siendo también 1.83 %N excretado en vacas Brown Swiss cruzadas. Un estudio realizado en ganado vacuno lechero evidenció un contenido de proteína cruda en heces de 14.63% y 2.3%N en base seca (Aguilar 2003), lo cual es mayor al contenido de PC en heces de este estudio. Asimismo, Cárdenas (2012) también reportó un contenido mayor de porcentaje de N en base seca, el contenido de N fue 2.7 %. Al respecto, se puede decir

que el bajo porcentaje de N en las excretas estaría relacionado con una baja emisión de óxido nítrico proveniente de la gestión del estiércol del animal (IPCC 2019).

4.2.4. Consumo de alimento

En la Tabla 9 se describe el consumo diario de los diferentes nutrientes contenidos en la dieta durante ambas épocas.

Tabla 9: Consumo en vacas en lactación durante las épocas seca e inicio de lluvias

| Parámetros | ÉPOCA | | P-value |
|-------------|---------------|-------------------|---------|
| | Seca | Inicios de lluvia | |
| CMS, Kg/día | 10.75 ± 0.155 | 11.29 ± 0.335 | 0.002 |
| CCz, g/día | 746.2 ± 10.8 | 472.8 ± 14 | 0.000 |
| CPC, g/día | 663.46 ± 9.57 | 618.4 ± 18.4 | 0.000 |
| CFDN, g/día | 6565.5 ± 94.7 | 7406 ± 220 | 0.000 |
| CEB, MJ/día | 174.55 ± 2.52 | 203.89 ± 6.06 | 0.000 |
| CEM, MJ/día | 85.34 ± 1.23 | 90.96 ± 2.51 | 0.000 |
| CMO, Kg/día | 10.00 ± 0.144 | 10.82 ± 0,321 | 0.000 |

*Nivel de significancia de 0.05. CMS: Consumo de materia seca; CCz: Consumo de ceniza; CPC: Consumo de proteína; CFDN: Consumo de FDN; CEB: Consumo de energía bruta; CEM: Consumo de energía metabolizable; CMO: Consumo de materia orgánica.

Fuente: Elaboración propia

Cómo se muestra en la Tabla 9, existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el CMS en ambas épocas, siendo superior durante la época de inicio de lluvias con un valor de 11.29 kg/día. Formoso (2005) sostiene que un CMS superior es directamente proporcional a la disponibilidad de forraje. En contraste, Medrano (2019) reporta un CMS superior para la época seca en vacas alimentadas con pastizales altoandinos. Asimismo, se muestra que existe un mayor consumo de ceniza ($p < 0.05$) durante la época seca, siendo este valor 746 g/día. Por otro lado, la Tabla 9 también muestra que existen diferencias ($p < 0.05$) en el consumo de proteína cruda, siendo superior en la época seca con 663 g/día. Al respecto, Medrano (2019) reportan un consumo de proteína cruda mayor para la época lluviosa (1.0 kg/día), siendo aquello opuesto a los resultados de este estudio. Sin embargo, Cáceres *et al.* (1989) reportan un mayor consumo de proteína durante la época seca en gramíneas forrajeras.

El consumo de FDN fue significativamente superior ($p < 0.05$) con 7.4 kg/día durante la época de inicio de lluvias, aquello podría deberse a la limitada disponibilidad de pastos durante la

época seca en este estudio. Arelovich et al. (2018) sostiene que a medida que se incrementa el contenido de FDN, disminuye el consumo de materia seca, sin embargo, en el presente estudio no se puede evidenciar ello. Por otro lado, Medrano (2019) reportó un consumo de FDN de 6.3 kg/d en época lluviosa y 6.9 kg/d en época seca en pastizales altoandinos, aquello es contrario a los resultados obtenidos.

Adicionalmente, la Tabla 9 también muestra un consumo de energía bruta de 203.89 MJ/día durante la época de inicio de lluvias, el cual fue mayor ($p < 0.05$) que la época seca. Además, el consumo de energía metabolizable también fue superior ($p < 0.05$) durante la época de inicio de lluvias con un valor de 90.96 MJ/día. Finalmente, se reportó un consumo de materia orgánica para la época de inicio de lluvias de 10.82 kg/día, valor que fue superior ($p < 0.05$) al consumo de materia orgánica de la época seca.

4.3. CUANTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

4.3.1. Emisiones de metano (CH₄)

Los resultados de emisiones totales de metano en vacas en lactación al pastoreo del distrito de San Pedro de Pilas – Yauyos, se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Emisión de metano en vacas en lactación en época seca e inicio de lluvia

| Emisión de CH ₄ | ÉPOCA | | P-value |
|---|-----------------|-------------------|---------|
| | Seca | Inicios de lluvia | |
| CH ₄ entérico (g/vaca/día) | 204.07 ± 2.94 | 255.06 ± 7.58 | 0.000 |
| CH ₄ total (kgCO ₂ -eq/vaca/día) | 5.83 ± 0.084 | 7.29 ± 0.217 | 0.000 |
| CH ₄ (Kg CO ₂ -eq/Kg leche) | 1.954 ± 0.095 | 1.733 ± 0.081 | 0.001 |
| CH ₄ anual (kg CO ₂ -eq/vaca/año) | 2393.76 ± 55.12 | | - |
| Ym, % | 6,04 ± 0 | 6.97 ± 0 | - |

*Nivel de significancia de 0.05. GWP: Global Warming Potential; Ym: Factor de conversión de energía bruta en metano.

Fuente: Elaboración propia

En el Perú se han realizado estudios de medición directa de metano entérico en los últimos años, estos han sido principalmente en zonas altoandinas de la sierra central del país con pastos propios de dicha zona. Uno de estos estudios fue el realizado por Medrano (2019) en pastizales altoandinos, quien reportó una producción de metano entérico de 213 g/d para la época lluviosa y de 257 g/d para la época seca en vacas en lactación. Aquellos valores

difieren con los resultados de este estudio. En la Tabla 10 se puede evidenciar que una mayor ($p < 0.05$) emisión de metano entérico para la época de inicio de lluvias, con 255 g/día. Esta diferencia con el estudio de Medrano (2019) puede deberse a que este último reportó un mayor nivel de CMS durante la época seca y en el presente estudio el CMS fue superior durante la época de inicios de lluvia. Diversas investigaciones han demostrado que a mayor nivel de consumo de materia seca habría una mayor producción de metano entérico al día (Buddle *et al.* 2011; Moorby *et al.* 2015). Por otro lado, Beltrán *et al.* (2016) reportan una emisión promedio diaria de 140.47 gCH₄/d para la fermentación entérica en vacas en México, valor que es inferior a los resultados de este estudio tanto para época seca como época de inicios de lluvia. Hernández (2020) quien realizó un estudio en México en diversos sistemas productivos lecheros, reportó una emisión diaria de metano de 186 g/día bajo un sistema extensivo. Dicho valor es inferior al del presente estudio. Un estudio realizado en Uruguay en vacas alimentadas con gramíneas reporta valores de 372 g/día de metano (Dini 2012), valor que es superior a estos resultados. En contraste, Dachraoui (2015) fue quien cuantificó las emisiones de metano en estación primavera 171 g/d y otoño 209 g/d, ambos valores son menores a los reportados en este estudio.

Respecto a las emisiones de metano por kg de leche, de la Tabla 10 se pueden derivar emisiones de 69.7 g CH₄/kg leche en época seca y 61.7 g CH₄/ kg leche en época de inicio de lluvias, siendo superior ($p < 0.05$) en la época seca. Para realizar una mejor comparación con otros estudios, se asume como emisión promedio de metano unos 65.7 g CH₄/kg leche o 1.84 kg CO₂-eq/kg leche. Pedreira *et al.* (2019) reportaron emisiones de 23.2 g CH₄/kg Leche, mientras que Cavanagh *et al.* (2008) reportaron emisiones de 18.2 g. Los valores de este estudio son superiores a los reportados por Pedreira *et al.* (2019) y Cavanagh *et al.* (2008).

Un estudio en Huella de Carbono realizado en el Valle del Mantaro reportó una emisión de metano por kg de leche de 0.811 kg CO₂-eq (Van 2014), dicho valor es inferior al promedio del presente estudio (1.84 kgCO₂-eq). Si bien tanto el estudio actual como el realizado por Van (2014) fueron realizados bajo un sistema extensivo, existen diferencias entre sus características. Por ejemplo, el estudio de Van (2014) muestra una producción de leche promedio por vaca de 12.2 kg diarios. Sin embargo, este estudio muestra una menor producción de leche por vaca, siendo esta de 3.6 kg de leche diarios.

Con respecto a las emisiones de metano provenientes de la gestión de estiércol, de la Tabla 10 se puede deducir que durante la época seca se produjo 4.14 g/día y en época de inicio de lluvia en promedio 5.29 g/día, teniendo como producción anual promedio 1.72 kg CH₄/vaca/año. Autores como Helmuth et al. (2008) en Colombia reportó emisiones de 1.5 kg CH₄/vaca/año para la gestión del estiércol. Existen investigaciones reportadas en otros países, como un estudio realizado en Colombia por Helmuth *et al.* (2008) quienes reportaron emisiones de 1.5 kg CH₄/vaca/año. También Beltrán *et al.* (2016) en México reportaron emisiones de 0.22 kg CH₄/vaca/año, provenientes de la gestión de estiércol. Ambos valores son inferiores al obtenido en este estudio.

Finalmente, la Tabla 10 muestra la producción anual promedio de metano proveniente de vacas lactantes al pastoreo en un sistema extensivo y de la gestión de estiércol. La emisión total de metano del presente estudio fue de 2393 kgCO₂-eq/vaca/año. Van (2014) reportó emisiones de metano de 3613.5 kg CO₂-eq/vaca/año. Sin embargo, en el estudio de Van (2014) localizado en sistemas extensivos del Valle del Mantaro, las vacas presentan un mayor consumo de pasturas, aquello influencia positivamente en la producción total de metano por vaca (IPCC 2019). Por otro lado, Bartl et al. (2011) en su estudio de Análisis de ciclo de vida realizado en zona altoandina, obtuvo emisiones globales de metano de 2652 kgCO₂-eq/vaca/año. Dichas emisiones son ligeramente superiores al de este estudio. Sin embargo, es importante considerar que los valores de potencial de calentamiento global usados en su estudio provienen de un horizonte de 20 años, lo cual varía los resultados.

4.3.2. Emisiones de óxido nitroso (N₂O)

Las emisiones totales de óxido nitroso desarrollados en el presente estudio, se derivan del estiércol de la vaca. Es decir, provienen del manejo del estiércol y del depósito de las heces y la orina en las pasturas de la zona de San Pedro de Pilas. No se consideró las emisiones derivadas de manejo de cultivos y fertilizantes. En la Tabla 11 se puede observar que no existen diferencias para las emisiones de N₂O por vaca al día, entre las épocas seca e inicio de lluvias. Asimismo, tampoco se encontró una diferencia estadística para las emisiones de N₂O por kg de excreta, entre ambas épocas de evaluación. Respecto a lo anterior, la cantidad de N₂O promedio por kg de excreta fue de 0.11 kg CO₂-eq.

Tabla 11: Emisión de óxido nítrico en vacas en lactación durante las épocas seca e inicio de lluvias

| Emisión de N ₂ O | ÉPOCA | | P-value |
|--|-----------------|-------------------|---------|
| | Seca | Inicios de lluvia | |
| N ₂ O (kg CO ₂ -eq/vaca/día) | 0.6192 ± 0.0184 | 0.6452 ± 0.0278 | 0.062 |
| N ₂ O(kg CO ₂ -eq/Kg excreta) | 0.1057 ± 0.003 | 0.1081 ± 0.005 | 0.275 |
| N ₂ O anual (kg CO ₂ -eq/vaca/año) | 230.75 ± 8.43 | | - |

Nivel de significancia de 0.05. GWP: Global Warming Potential.

Fuente: Elaboración propia

A fin de comparar los resultados de este estudio, se expresó las emisiones anuales de N₂O cómo 230.75 kg CO₂-eq/vaca/año y 0.986 kg N₂O/vaca/año, las cuáles son emisiones derivadas de la gestión del estiércol y del depósito de estiércol en las pasturas. Investigadores como Nieto *et al.* (2014) reportaron emisiones de 1.57 kg N₂O/año, lo cual es mayor al obtenido en este estudio, dicho autor no reportó la composición química de la dieta del ganado. Adicionalmente, Hernández (2020) en su investigación obtuvo resultados de emisiones de 1180 kg CO₂-eq/vaca/año en vacas al pastoreo, cifra que es superior debido a que Hernández no restringió su estudio exclusivamente al manejo de estiércol. Por otro lado, Dachraoui (2015) reportó emisiones de 0.56 kg N₂O/año, dicho valor es menor al del estudio. Adicionalmente, Dachraoui (2015) manifestó que no existen diferencias significativas en las emisiones de óxido nítrico para las diferentes épocas, al igual que en este estudio.

Emisiones superiores de N₂O provenientes de la gestión del estiércol se deben en gran medida al contenido de proteína de la dieta, las pasturas de baja calidad proteica al ser consumidas por la vaca suelen producir menor cantidad de N₂O, mayor cantidad de N consumido conlleva a una mayor cantidad de N excretado y este N excretado es directamente proporcional a la cantidad de N₂O producido (IPCC 2019), aquello puede explicar los bajos valores de emisión de N₂O del presente estudio.

Finalmente, la Tabla 11 muestra una estimación anual de N₂O de 230.75 kgCO₂-eq/vaca/año, este valor obtenido sirve cómo referencia para el distrito de San Pedro de Pilas. Var (2014) registró emisiones de N₂O de 584 kg CO₂-eq/vaca/año. Cómo se puede ver, las emisiones registradas por Van (2014) son más del doble para óxido nítrico. En este sentido, la principal causa debería ser que Van (2014) al utilizar la metodología de Huella de Carbono, consideró

todas las emisiones del sistema. No solamente las derivadas de la vaca y el estiércol cómo en este caso. Otro estudio realizado en el Perú para un sistema extensivo es el de Bartl et al. (2011), quién obtuvo una emisión de óxido nitroso de 124 kg CO₂-eq/vaca/año.

4.3.3. Emisiones globales de GEI

Las emisiones globales de GEI, se determinaron mediante la suma de las emisiones de óxido nitroso y metano. Estas emisiones globales provienen de vacas lactantes alimentadas principalmente con pastos naturales del distrito de San Pedro de Pilas. Asimismo, es importante aclarar que estas emisiones fueron calculadas para una sola categoría de ganado, también es indispensable considerar que se excluyeron las emisiones que no fueron producidas por la vaca o por el estiércol de ésta. Los resultados del presente estudio se muestran en la Tabla 12. Estas emisiones se cuantificaron en términos de CO₂-eq. Para ello se empleó los siguientes PCG: CH₄=28 y N₂O=265.

Tabla 12: Emisión total de gases de efecto invernadero en vacas en lactación durante las épocas seca e inicio de lluvias

| Emisión de GEI | ÉPOCA | | P-value |
|--|-----------------|-------------------|---------|
| | Seca | Inicios de lluvia | |
| GEI (kg CO ₂ -eq /vaca/día) | 6.446 ± 0.098 | 7.935 ± 0.239 | 0.000 |
| GEI (kg CO ₂ -eq/Kg leche) | 2.161 ± 0.106 | 1.886 ± 0.091 | 0.000 |
| Kg CO ₂ -eq/vaca/año | 2624.53 ± 61.50 | | - |

Nivel de significancia de 0.05. GWP: Global Warming Potential.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados mostrados en la Tabla 12 sobre las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) son superiores ($p < 0.05$) en la época de inicios de lluvia (7.935 kgCO₂-eq /vaca/día) en comparación con las emisiones de época seca (6.446 kgCO₂-eq /vaca/día). Aquello puede deberse al mayor CMS registrado durante la temporada de inicio de lluvias, siendo que el consumo está directamente relacionado con la producción de metano y óxido nitroso (IPCC 2019). Adicionalmente, la Tabla 12 también muestra emisiones globales por vaca año de 2624.53 kg CO₂-eq. Van (2014) en un estudio de huella de carbono realizado en el Valle del Mantaro, calculó las emisiones provenientes de granjas lecheras bajo un sistema extensivo. En dicho estudio, las emisiones globales fueron superiores (4526 kgCO₂-eq /vaca/año) en comparación con el presente estudio. Si bien en ambos estudios se calculó las emisiones de GEI, Van (2014) consideró todo el sistema productivo. En el presente

estudio no se consideró elementos alternos a la vaca y sus excretas. Es decir, no se consideró fertilización de cultivos, transporte, emisiones por producción de alimento, mucho menos de concentrado porque el ganado de San Pedro de Pilas se alimentó únicamente en base a pastos. En vista de que el presente estudio consideró sólo las emisiones de la vaca y sus excretas, se encuentra coherente los menores resultados obtenidos. Sin embargo, para realizar una comparación más verídica se aisló las emisiones provenientes de fermentación entérica y manejo de estiércol del estudio de Van (2014), obteniendo emisiones anuales de 4.197.5 kg CO₂-eq/vaca/año. Como se puede observar, las emisiones provenientes de dicho sistema ganadero extensivo fueron muy superiores a los datos obtenidos en el presente estudio. Dicha diferencia radica en que en el estudio de Van (2014), se registraron muy altas emisiones de metano entérico, el cual a su vez tiene una relación directa con el CMS de la dieta del animal como se puede observar en las ecuaciones del IPCC (2019). Mientras que este estudio reportó un CMS de 11.2 kg MS/día, Van (2014) reportó un consumo de 14.1 kgMS/día. Además al ser un estudio de huella de carbono, el estudio de Van (2014) abarcó más grupos de animales.

Por otro lado, Bartl et al. (2011) realizaron un análisis de ciclo de vida de la leche para un sistema extensivo altoandino. En dicho estudio, Bartl et al. (2011) reportaron emisiones de 2325 kg CO₂-eq/animal/año para las emisiones derivadas de fermentación y manejo de estiércol, valor que se asemeja al reportado en este estudio. Es importante aclarar que tanto el presente estudio como el estudio de Bartl et al. (2011) presentaron similares características en el sistema productivo, como lo son la baja producción de leche por vaca al día y la alimentación basada únicamente en pastos. Sin embargo, se debe considerar que dicho estudio se trabajó bajo un horizonte de 20 años, mientras que para este estudio se calcularon las emisiones bajo un horizonte de 100 años.

Hernández (2020) cuantificó las emisiones totales de GEI en diferentes niveles de intensificación del uso del suelo bajo el sistema extensivo, cuantificó una emisión superior de 3078 kg CO₂-eq/año. Dachraoui (2015) en su estudio logró estimar una producción total de 5219 kg CO₂-eq/año. Asimismo, Nieto *et al.* (2014) en un estudio de vacas lecheras Holstein reportaron emisiones totales anuales de GEI de 3618 kg CO₂-eq, valor que es superior a los 2624.53 kg CO₂-eq/vaca día del presente estudio. Lo anterior puede deberse al nivel productivo del animal, las vacas en el estudio de Nieto *et al.* (2014) presentaron una producción media superior de 27 kg de leche al día, sabiendo que la producción de leche está

directamente relacionada con la cantidad de N retenido e inversamente proporcional con la cantidad de N excretado (IPCC 2019), es factible sostener que a mayor nivel de producción de leche disminuirá la cantidad de N₂O producido por el animal.

Finalmente, los resultados de las emisiones globales de GEI por kg de leche evidencian que durante la época seca (2.161 kg CO₂-eq) es cuando existe una mayor emisión de GEI por kg de leche ($p < 0.05$) en comparación con la época de inicio de lluvias (1.886 kg CO₂-eq). Existen pocos estudios que estimen las emisiones globales de GEI provenientes del ganado en más de una época, Ruiz (2018) en un estudio realizado en la región Amazonas reportó una mayor emisión de CO₂-eq por kg leche para la época seca. Si bien en el estudio de Ruiz (2018) el sistema productivo presenta diferentes características al de este estudio, es importante considerar la tendencia de emisión de GEI entre épocas. Asimismo, en este estudio se obtuvo una reducción en las emisiones por kg de leche en la época de inicio de lluvias, aquello puede deberse a que se registró una mayor producción de leche para la temporada de inicio de lluvias. Es por ello que un incremento en la productividad del ganado conllevaría a reducir las emisiones globales de GEI (Bartl et al. 2011).

Del estudio de Van (2014) bajo un sistema extensivo, se puede deducir una emisión de 1.02 kg CO₂-eq/kg leche. Dicho valor fue menor que los valores reportados en el presente estudio, la diferencia puede deberse a que en el estudio realizado por Van (2014), la producción de leche promedio diaria fue de 12.2 kg leche, mientras que en este estudio fue de 3.6 kg de leche. En el estudio desarrollado por Bartl et al. (2011), se encontró que la producción promedio diaria de leche (2.57 kg leche) fue incluso menor al del presente estudio. Debido a ello, Bartl et al. (2011) reportaron una emisión de 2.48 kg CO₂-eq/ kg leche para las emisiones procedentes de la fermentación entérica y manejo de estiércol, valor que fue ligeramente superior al del presente estudio (1.99 kg CO₂-eq/kg leche). Con el fin de poder comparar las emisiones de este estudio con otros referentes a huella de carbono, se optó por convertir la producción promedio diaria de leche en términos de Leche corregida por grasa y proteína (LCGP), mostrando una producción diaria promedio de 4.03 kg LCGP. En este sentido, un estudio realizado en Australia (Gollnow et al. 2014), reportó emisiones de 1.01 kg de CO₂-eq/kg LCGP, aquel valor fue menor al de este estudio es decir el presente estudio presenta un mayor impacto ambiental en las emisiones de GEI por kg de leche.

Si bien, la producción anual de GEI por animal está muy por debajo del promedio en comparación con otros estudios, debe considerarse las características del sistema extensivo de San Pedro de Pilas. Además, también es relevante acotar que este estudio no estimó las emisiones totales de GEI del sistema productivo lechero, sólo se consideró las emisiones provenientes de la vaca lactante y las emisiones derivadas de sus excretas. De esta forma, se excluye las emisiones provenientes del manejo de cultivos como lo son el uso de fertilizantes, tampoco se consideró las emisiones de CO₂ provenientes de la producción del alimento del ganado.

V. CONCLUSIONES

1. Las emisiones globales de GEI fueron mayores para la época de inicio de lluvias con un valor de 7.93 kgCO₂-eq por vaca al día. Sin embargo, las mayores emisiones de GEI por kg de leche se registraron en la época seca, con un valor de 2.2 kg CO₂-eq/ kg leche.
2. Las emisiones de metano fueron mayores en la época de inicio de lluvias, con un valor de 7.3 kgCO₂-eq/vaca/día. Sin embargo, en la época seca se registraron las mayores emisiones de metano por kg de leche, con un valor de 1.95 kg CO₂-eq/kg leche.
3. Para las emisiones de óxido nitroso, no se encontraron diferencias entre las dos épocas, siendo el valor medio 230.75 kg CO₂-eq/vaca/año. Asimismo, las emisiones de óxido nitroso por kg de excretas tampoco presentaron diferencias entre ambas épocas de evaluación, siendo el promedio 0.11 kg CO₂-eq / kg excreta.

VI. RECOMENDACIONES

1. Los resultados de las emisiones globales de GEI sugieren mejorar el nivel productivo del animal, a fin de reducir las emisiones de GEI por unidad de leche.
2. Los resultados del presente estudio sugieren que para un mayor panorama de las emisiones de gases de efecto invernadero, se debería considerar todas las emisiones derivadas del sistema productivo.
3. Se recomienda ampliar el rango de evaluación a los diferentes grupos de animales dentro del hato.
4. Desarrollar ecuaciones de predicción de emisión de GEI para nuestra realidad ganadera, en base al CMS y calidad de la dieta.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, JCF.** 2003. Problemática, Uso y Manejo del Estiércol de Ganado Bovino Lechero. Tesis Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Buenavista, México, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.
- Alayón-Gamboa, JA; Jiménez-Ferrer, G; Nahed-Toral, J; Villanueva-López, G.** 2016. Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México. *Agroproductividad*. 9(9):10-15.
- Alayón-Gamboa, JA; Jiménez-Ferrer, G; Piñeiro-Vázquez, AT; Canul-Solis, J; Albores-Moreno, S; Villanueva-López, G; Nahed-Toral, J; Ku-Vera, JC.** 2018. Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. *Agroproductividad*. 11(2):9-15.
- Alvarado, V.** 2018. Emisión de metano entérico de vacas en lactación con pastos cultivados en zona altoandina – estación seca y lluviosa. Tesis Magister Scientiae en Nutrición. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Alvarado, V; Medrano, J; Haro; Castro, 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. Resivado el 04 de diciembre del 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104385>.
- AOAC.** 2005. Métodos oficiales de análisis de Association of Analytical Chemists International, 18ª ed. Gathersburg, MD Estados Unidos. Métodos oficiales.
- Archimède, H; Eugène, M; Magdeleine, M; Boval, M; Martin, C; Morgavi, DP; Lecomte, P; Doreau, M.** 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 59-64.

- Arelovich, H; Abney, C; Vizcarra, J; Galyean, M.** 2008. Effects of dietary neutral detergent fiber on intakes of dry matter and net energy by dairy and beef cattle: analysis of published data. *The Professional Animal Scientist* 24:375–383.
- Baars, R.** 1998. Nutrition management, nitrogen efficiency, and income over feed cost on dairy farms in Costa Rica. *Journal of dairy science* 81(3): 801-806.
- Barco, D; Vargas, P.** 2010. El cambio climático y sus efectos en el Perú. *Revista Moneda, Banco Central de Reserva del Perú.* 143 ed. p. 25-29.
- Bartl, K; Gómez, C; Nemecek, T.** 2011. Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. *Journal of Cleaner Production.* 19:1494-1505.
- Bedoya, EV.** 2020. Estimación del gas metano generado por el ganado vacuno en el distrito de Moquegua 2019. Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad José Carlos Mariátegui. Moquegua – Perú.
- Beltrán-Santoyo, MA; Álvarez-Fuentes, G; Pinos-Rodríguez, JM; Contreras-Servín, C.** 2016. Emisión de metano en los sistemas de producción de leche bovina en el Valle de San Luis Potosí, México (en línea). *Agrociencia* 50(3):297-305. Consultado 26 set. 2021. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000300297&lng=es&tlng=es.
- Benavides, HO; León, GE.** 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM. Bogotá, Colombia, 102 p.
- Bhatta, R.** 2015. Reducing Enteric Methane Emission Using Plant Secondary Metabolites. In: Sejian, V; Gaughan, J; Baumgard, L; Prasad, C(eds.). *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation.* Springer. Delhi, India. pp. 273-284.

Bindoff, NL; Willebrand, J; Artale, V; Cazenave, A; Gregory, J; Gulev, S; Hanawa, K; Le Quéré, C; Levitus, S; Nojiri, Y; Shum, CK; Talley LD; Unnikrishnan, A. 2007. Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change [Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Chen, Z; Marquis M; Averyt; K.B; Tignor, M. and Millert, H.L. (eds)]. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Blaxter, K; Clapperton, J. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition.* 19:511-522

Boadi, DA; Wittenberg, KM. 2002. Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF6) tracer gas technique. *Canadian Journal of Animal Science* 82:201-206.

Bonilla Cárdenas, JM; Lemus Flores, C. 2012. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático (en línea). *Revista mexicana de ciencias Pecuarias.* 3(2):215-246. Consultado 09 dic. 2015. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242012000200006&lng=es.

Buddle, B; Denis, M; Attwood, G; Altermann, E; Janssen, P; Ronimus, R; Pinares-Patiño, C; Muetzel, S; Wedlock, D. 2011. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pastures. *The Vet. J.* 188:11-17.

Cáceres, O; Santana, H; Rivero, L. 1989. Influencia de la época sobre el valor nutritivo y rendimiento de nutrimentos en tres gramíneas forrajeras. *Pastos y Forrajes* 12(1). Matanzas, Cuba.

Caceres, W., Verastegui, S., Y Flores, E.R. 1996. Composición de la dieta y selectividad en vacunos en pastizales de la Sierra Sur. *Boletín Técnico LUP – UNALM.* Lima – Perú.

- Cambra, M; Garcia Rebollar, M; Estellés, F; Torres, A.** 2008. Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: El factor de conversión de metano. Archivos de zootecnia 57: 89-101.
- Cantaro Segura, JI.** 2018. Consumo de alimento y comportamiento ingestivo de vacas al pastoreo en época lluviosa en la sierra central del Perú. Tesis Magister Scientiae en Producción Animal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Cárdenas, J.** 2012. Evaluación de la calidad de biogás y biol en digestores utilizando estiércol de vaca y residuos orgánicos del comedor pretratados con la técnica del bocashi en la UNALM. Tesis Ingeniero Ambiental. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Cavanagh, A; McNaughton, L; Clark, H; Greaves, C; Gowan, J; Pinares-Patino, C; Dalley, D; Vlaming, B; Molano, G.** 2008. Methane emissions from grazing Jersey × Friesian dairy cows in mid lactation. Australian Journal of Experimental Agriculture. 48: 230–233.
- Chagunda, MGG; Flokhart, JF; Roberts, DJ.** 2010. The effect of forage quality on predicted enteric methane production from dairy cows. International Journal of Agricultural Sustainability 8 (4): 250-256.
- Chandramoni; Jadhao, SB; Tiwari, C.M; Khan, MY.** 2000. Energy metabolism with particular reference to methane production in Muzzaffarnagari sheep fed rations varying in roughage to concentrate ratio (en línea). Animal Feed Science and Technology 83:287-300. Consultado 15 abr. 2021. Disponible en <http://directory.umm.ac.id/Data%20Elmu/jurnal/A/Animal%20Feed%20Science%20and%20Technology/Vol83.Issue3-4.Mar2000/10453.pdf>.
- Chino Velasquez, LB.** 2016. Evaluar la cantidad de metano producido en vacunos bajo condiciones de pastoreo con suplementación nutricional (ensilado y taninos) a 4300 m.s.n.m. en época de seca. Tesis ingeniero zootecnista, Cusco, Perú, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

- Church, D.**1993. El Rumiante: Fisiología digestiva y nutrición: Zaragoza. Zaragoza, España, Editorial Acribia. 641p.
- Colque, M; Sánchez, V.** 2007. Los gases de efecto invernadero: ¿Por qué se produce el Calentamiento Global?. Lima, Perú.
- Comeca Chuquipul, M; La Torre Ruiz, F.** (2010). La demarcación territorial distrital en la cuenca del Río Omas (Asia) (en línea). Investigaciones Sociales 14(24):113 - 129. Consultado 12 nov. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.15381/is.v14i24.7287>.
- CONAM.** 2001. Comunicación nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Primera Comunicación (en línea). Consultado 01 dic. 2018. Disponible en www.unfccc.int/resource/docs/natc/pernc1.pdf.
- Cottle, D; Nolan, J; Wiedemann, S.** 2011. Ruminant enteric methane mitigation: a review. Animal Production Science 51(6): 491-514.
- Dachraoui, M.** 2015. Comparación de diferentes modelos de predicción de emisión de gases de efecto invernadero por vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de raigrás italiano o ensilado de haba y colza forrajera. Tesis Magister Science en Nutrición. Zaragoza, España, Universidad de Zaragoza.
- Dall-Orsoletta, C; Almeida, J; Carvalho, P; Savian, J; Ribeiro-Filho, H.** 2016. Ryegrass pasture combined with partial total mixed ration reduces enteric methane emissions and maintains the performance of dairy cows during mid to late lactation. Journal of Dairy Science. 99:1–10.
- De Blas, C; García-Rebollar, P; Cambra-López, M; Torres, AG.** 2008. Contribución de los rumiantes a las emisiones de gases con efecto invernadero (en línea). XXIV curso de especialización FEDNA. Editorial FEDNA. Madrid, pp. 121-150. Consultado 17 jun. 2021. Disponible en http://fundacionfedna.org/sites/default/files/08CAP_IX.pdf.

- De Ramus, H; Clement, T; Giampola, D; Dickison, P.** 2003. Methane emissions of beef cattle on forage: Efficiency of grazing management system. *J Environ Qual.* 32:269-277.
- Delgado, S.** 2019. Determinación de digestibilidad y nutrientes digestibles totales de los forrajes morera (*Morus alba*) y Mucuna (*Stizolobium deeringianum*) en cuyes en el distrito de Echarate, Cusco, Perú (en línea). Tesis título Médico Veterinario y Zootecnista. Arequipa, Perú, Universidad Católica de Santa María. Consultado 20 dic. 2020. Disponible en <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/9737>.
- Demeyer, D; Fievez, V.** 2000. Ruminants et environnement: la méthanogène. *Annales de Zootechnie* 49:95-112.
- Demeyer, DI; Hendrickx, HK.** 1967. Methane production from glucose in vitro by mixed rumen bacteria (en línea). *Biochemical Journal.* 105(1):271-77. Consultado 17 feb. 2019. Disponible en <https://doi.org/10.1042/bj1050271>.
- Dini Vilar, Y.** 2012. Emisión de metano entérico de vacas lecheras en Patoeo de praderas dominadas por gramíneas o por leguminosas (en línea). Tesis Magister en Ciencias Animales. Montevideo, Uruguay, Universidad de la República. Consultado 30 set. 2021. Disponible en <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1835/1/0078din.pdf>.
- Ellis, JL; Kebreab, E; Odongo, NE; McBride, BW; Okine, EK; France, J.** 2007. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. *Journal Dairy Science* 90: 3456-3466.
- Estellés Barber, F.** 2007. Diseño y puesta en funcionamiento de una cámara dinámica para el registro de emisiones de gases procedentes de estiércoles y pequeños animales (en línea). Tesis Magister Science en Producción Animal. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia. Consultado 15 set. 2020. Disponible en <http://hdl.handle.net/10251/12895>.

- FAO.** 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación (En línea). Roma. Consultado 15 abr. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3437s.pdf>.
- Fernández Rivas, L.** 2015. El papel de los óxidos de nitrógeno en el Cambio Climático: Efectos sobre la salud. Trabajo de fin de grado. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Flores, ER; Cruz, JA; Y Ñaupari, J.** 2005. Utilización de praderas cultivadas en secano y praderas naturales para la producción lechera. Boletín Técnico CICCA – FDA – INCAGRO. Lima – Perú.
- Formoso, F.** 2005. Eficiencia de la producción y utilización de forraje en otoño e invierno. Jornada Producción Animal Intensiva. INIA. Uruguay.
- Forster, P; Ramaswamy, V; Artaxo, P; Berntsen, T; Betts, R; Fahey, D; Haywood, J; Lean, J; Lowe, D; Myhre, G; Nganga, J; Prinn, R; Raga, G; Schulz, M; Van Dorland, R.** 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Chen, Z; Marquis, M; Averyt, K; Tignor, M; Miller, H (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 129-234.
- Garcia, L.** 2019. Emisión de óxido nitroso en suelos de pasturas cultivadas en estación seca en ganadería lechera altoandina. Tesis Magister Scientiae en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Peru.
- Gerber, PJ; Henderson, B; Makkar, HP.** 2013a. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production. A review of technical options for non-CO2 emissions. Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

- Gerber, PJ; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Falcucci, A; Tempio, G.** 2013b. Hacer frente el cambio climático a través de la ganadería: evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Roma, Italia, Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO).
- Gollnow, S; Moore, A; Lundie, S; McLaren, J; Buuren, N; Stahle, P; Christie, K; Thylmann, D; Rehl, T.** 2014. Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. *International Dairy Journal*. 37(1):31-38.
- Gómez, C; Vargas, J; Fernández, M.** 2005. Perú: Milk production fact sheet. In Hemme, Denken et al. 2005: IFCC Dairy report 2005, International Farm Comparison Network, Global Farm GbR, Braunschweig. p 142–143.
- Gracia, E; Chacón, G; Moreno, B; Fernández, A; Albizú, I; Baselga, R.** 2006. Toma de muestras en rumiantes. *Exopol. Autovacunas y Diagnóstico*, San Mateo, Zaragoza.
- 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 (SF6) Tracer and Chamber Techniques. *Journal of Dairy Science* 90:2755-2766.
- Gutierrez, RS.** 2021. El aporte de los árboles en la contaminación con ozono en las ciudades de Campana y Zárate, Buenos Aires. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica Ambiental.
- Hammond, K; Muetzel, S; Waghorn, G; Pinares-Patiño, C; Burke, J; Hoskin, S.** 2009. The variation in methane emissions from sheep and cattle is not explained by the chemical composition of ryegrass. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 69:174-178.
- Haro, A; Carro, M; De Evan, T; González, J.** 2018. Protecting protein against ruminal degradation could contribute to reduced methane production. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(6):1482-1487.

- Helmuth, E; Nieves, H; Olarte, C.** 2008. Resumen Técnico Módulo y Agricultura Inventario Nacional GEI AÑOS 2000 Y 2004. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. IDEAM PNUD. República de Colombia.
- Hernández Chacón, OA.** 2020. Emisión de gases de efecto invernadero en unidades de producción en Chiapas, México. Tesis Maestra en Ciencias en Producción Agropecuaria. Chiapas, México, Universidad Autónoma de Chiapas.
- Hollman, M; Knowlton, KF; Hanigan, MD.** 2008. Evaluation of solids, nitrogen and phosphorus excretion models for lactating dairy cows. Dairy Sci. 91:1245-1257.
- Hristov, AN; Ott, T; Tricarico, J; Rotz, A; Waghorn, G; Adesogan, A; Dijkstra, J; Montes, F; Oh, J; Kebreab, E; Oosting, SJ; Gerber, PJ; Henderson, B; Makkar, HPS; Firkins, JL.** 2013. Special topics- Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: A review of animal management mitigation options. Journal of Animal Science 91:5095-5113.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), 2017. Perú: Crecimiento y distribución de la población total, 2017. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. Consultado 8 ago. 2020. Disponible en https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1673/libro.pdf.**
- IPCC.** 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emission from Livestock and manure Management.
- IPCC.** 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. IPCC, Ginebra, Suiza.
- IPCC.** 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

- Janssen, PH.** 2010. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Animal feed science and technology* 160(1-2):1-22.
- Jentsch, W; Schweigel, M; Weissbach, F; Scholze, H; Pitroff, W; Derno, M.** 2007. Methane production in cattle calculated by the nutrient composition of the diet. *Arch. Anim. Nutr.* 61:10-19.
- Jiménez, GO; Soto, L; Pérez, E; Ku-Vera, JC; Ayala, AJ; Villanueva, G; Alayón, JA.** 2015. Ganadería y cambio climático: Avances y retos de la mitigación y la adaptación en la frontera sur de México. *Sociedades Rurales, Producción y Medioambiente* 15:51-70.
- Johnson, K; Johnson, D.** 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science.* 73:2483–2492.
- Jonker, A; Molano, G; Koolgaard, J; Muetzel, S.** 2017. Methane emissions from lactating and non-lactating dairy cows and growing cattle fed fresh pasture. *Animal Production Science.* 57:643–648.
- Kamra, DN; Agarwal, N; Chaudhary, LC.** 2015. Manipulation of rumen microbial ecosystem for reducing enteric methane emission in Livestock. In: Sejian, V; Gaughan, J; Baumgard, L; Prasad, C(eds.). *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation.* Delhi, India. Springer. pp. 255-272.
- Kirchgesner; Windisch, W; Müller, HL.** 1994. Nutritional factors for the quantification of methane production. In proceedings of the 8th International Symposium on ruminant physiology, Willingen, Hesse, Germany. pp. 333-348.
- Kurihara, M; Magner, T; McCrabb, H, McCrabb G.** 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition,* 81:227-234.

- Ku-Vera, JC; Ayala, AJ; Solorio, FJ; Briceño-Poot, EG; Ruíz, GA; Piñeiro, AT; Barros, RM; Soto, AM; Espinosa, HJC; Albores, S; Chay, AJ; Aguilar, CF; Ramírez, L.** 2013. Tropical tree foliages and shrubs as feed additives in ruminant rations. In: Salem (ed.) Nutritional strategies of animal feed additives. New York, USA. NOVA Science Publishers. pp. 59-76.
- Lassey, K; Ulyatt, M; Martin, R; Walker, C; Shelton, I.** 1997. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. 18(31):2905-2914.
- Leng, RA.** 1993. Quantitative ruminant nutrition: a green Science. Australian Journal of Agricultural Research 44:363-380.
- Lipa Ancco, V.** 2017. Evaluación de la cantidad de metano producido en vacunos bajo condiciones de pastoreo y suplementación en época seca en el Centro Experimental La Raya (en línea). Tesis ingeniero zootecnista. Cusco, Perú, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Consultado 20 jun. 2020. Disponible en http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/1817/253T2017027_6_TC.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- Machmuller, A. y Clark, H.** 2006. First results of a meta-analysis of the methane emissions data of New Zealand ruminants. International congress series 1293:54-57.
- Mcallister, TA; Okine, EK; Mathison, GW; Cheng, KJ.** 1996. Dietary, Environmental And Microbiological Aspects Of Methane Production Inruminants. Can. J. Anim. Sci. 76:231-43.
- McCaughey, W; Wittenberg, K; Corrigan, D.** 1999. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. Can. J. Anim. Sci. 79(2):221-226.
- Medrano, J.** 2019. Emisión de metano entérico en vacas en lactación es pastizales altoandinos en estación lluviosa y seca. Tesis Magister Scientiae en Nutrición. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Meléndez, P.** 2015. Las Bases para entender un análisis nutricional de alimentos y su nomenclatura. Santiago de Chile.
- Milford, R; Y Minson, DJ.** 1966. The feeding value of tropical pastures. In: Davies, W. y Skidmore, CL. Tropical pastures. London, Faber, pp. 106-114.
- Mills, JAN; Kebreab, E; Yates, CM; Crompton, LA; Cammell, SB; Dhanoa, MS; Agnew, RE; France, J.** 2003. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. *Journal of Animal Science* 81:3141-3150.
- MINAM.** 2009. Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en el Perú (en línea). Consultado 01 dic. 2018. Disponible en www.minam.gob.pe > CDAM0000323.
- MINAM.** 2016. El Perú y el Cambio Climático. Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (en línea). Consultado 01 dic. 2018. Disponible en www.minam.gob.pe > uploads > 2016/05.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.** 2012. Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012. Volumen 2: Análisis por Actividades SNAP.
- Moorby, J; Fleming, H; Theobald, V; Fraser, M.** 2015. Can live weight be used as a proxy for enteric methane emissions from pasture-fed sheep? *Scientific Reports* 5:17915.
- Morante López, D; Guevara Escobar, A; Suzán Azpiri, H; Lemus Ramírez, V; Sosa Ferreyra, CF.** 2016. Estimación Tier II de emisión de metano entérico en hatos de vacas lactantes en Querétaro, México (en línea). *Revista mexicana de ciencias pecuarias* 7(3):293-308. Consultado 20 may. 2020. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242016000300293&lng=es&tlng=es.

- Moscoso, J; Franco, F; San Martín, F; Olazábal, J; Chino, L; Pinares-Patiño, C.** 2017. Producción de Metano en Vacunos al Pastoreo Suplementados con Ensilado, Concentrado y Taninos en el Altiplano Peruano en Época Seca. *Rev. Inv. Vet. Perú.* 28(4): 822-833.
- Murray, R; Bryant, A; Leng, R.** 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition.* 36:1-14.
- Myhre, G; Shindell, D; Bréon, FM; Collins, W; Fuglestedt, J; Huang, J; Koch, D; Lamarque, JF; Lee, D; Mendoza, B; Nakajima, T; Robock, A; Stephens, G; Takemura, T; Zhang, H.** 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Stocker, TF; Qin, D; Plattner, GK; Tignor, M; Allen, SK; Boschung, J; Nauels, A; Xia, Y; Bex, V; Midgley, PM (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. p. 131.
- Negussie, E; De Haas, Y; Dehareng, F; Dewhurst, R; Dijkstra, J; Gengler, N; Morgavi, D; Soyeurt, H; Van Gastelen, S; Yan, T; Biscarini, F.** 2017. Invited review: Large-scale indirect measurements for enteric methane emissions in dairy cattle: A review of proxies and their potential for use in management and breeding decisions. *Journal of Dairy Science* 100:1–21.
- Nieto, MI; Guzmán, ML; Steinaker, D.** 2014. Emisiones de gases de efecto invernadero: Simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 40(1):92–101. Consultado 15 oct. 2021. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/pdf/ria/v40n1/v40n1a14.pdf>.
- Ominski, KH; Wittenberg, KM.** 2004. Strategies for reducing enteric methane emissions in forage-based beef production systems. *The science of changing climates- impact on agriculture, forestry and wetlands.* University Of Alberta, Edmonton, Alberta Canadian Society Of Agronomy, Animal Science, And Soil Science.

- Otoya, V.** 1986. Efecto de la época del año y días de ocupación en la calidad nutritiva de *Brachiaria Decumbens*. *Pasturas Tropicales*, 8 (1):2-5.
- Pablo Merino, FM.** 2019. Emisión de metano entérico por toretes de la raza Brahman bajo condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán *Echinochloa polystachya (Kunth) Hitch*, durante época seca en Tulumayo – CIPTALD. Tesis Ingeniero Zootecnista. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Pari Huacani, JA.** 2017. Efecto del nivel de consumo de concentrado fibroso en las emisiones de metano entérico en alpacas y llamas. Tesis título de médico veterinario y zootecnista. Puno, Perú, Universidad Nacional del Altiplano.
- Pedreira, MDS; Primavesi, O; Lima, MA; Frighetto, R; De Oliveira, SG; Berchielli, TT.** 2009. Ruminant methane emission by dairy cattle in southeast Brazil. *Scientia Agricola*. 66(6):742-750
- Perry, L; Al Jassim, R; Gaughan, J; Tomkins, N.** 2016. Effect of feeding forage characteristic of wet- or dry-season tropical C4 grass in northern Australia, on methane production, intake and rumen outflow rates in *Bos indicus* steers. *Animal Production Science* 57(10):2033-2041.
- Pinares-Patiño, C; Clark, H.** 2010. Rumen function and digestive parameters associated with methane emissions in dairy cows. *Proceedings of the 4th Australasian Dairy Science Symposium 2010*. Pp 86-93.
- Pinares-Patiño, C; D'hour, P; Jouany, J; Martin, C.** 2007. Effects of stocking rate on methane and carbon dioxide emissions from grazing cattle. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 121:30–46.
- Quispe Eulogio, CE.** 2016. Efecto del pre-pastoreo con vacunos sobre las dietas de alpacas y ovinos en pastizales naturales. Tesis Magister Scientiae en Producción Animal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.

Reategui Ordoñez, J. 2017. Estimación de emisiones de metano producidas por gestión de estiércol proveniente de sistemas de producción de bovinos de leche en Majes – Arequipa (en línea). *Véritas Journal* 16(1):19-23. Consultado 15 set. 2021. Disponible en <https://revistas.ucsm.edu.pe/ojs/index.php/veritas/article/view/90>.

Richmond, A; Wylie, A; Laidlaw, A; Lively, F. 2015. Methane emissions from beef cattle grazing on semi-natural upland and improved lowland grasslands. *The Animal Consortium* 2014. 9(1):130–137.

Román, S; Hernández, J. 2016. Producción y Medición de Metano (CH₄) en el ganado bovino. Technical Report. *Revista Ganadero* pp. 84-193.

Ruiz Llontop, DY. 2018. Emisión de gases de efecto invernadero en sistemas de producción bovina fleckvieh, en la región Amazonas. Tesis Magister Science en Producción Animal. Amazonas, Perú, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

SAGARPA, S. 2012. Sustentabilidad de los Recursos Naturales Subíndice de Emisiones de Gases Efecto Invernadero – Metodología de Cálculo.

SENAMHI, 2015. Validación de datos de precipitación para monitoreo de periodos secos y húmedos en el Perú. Díaz, A; Villegas, E; Felipe, O; Lavado, W. (personal directivo). Lima, Perú, Dirección general de hidrología y recursos hídricos. Consultado 23 jun. 2021. Disponible en <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/SENAMHI/Validacion%20de%20datos%20CHIRPS%20de%20Precipitacion%20para%20Monitoreo%20de%20Periodos%20Secos%20y%20Humedos%20en%20el%20Peru.pdf>

Senger, CCD; Kozloski, GV; Sanchez, LMB; Mesquita, FR; Alves, TP; Castagnino, DS. 2008. Evaluation of autoclave procedures for fiber analysis in forage and concentrate feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology* 146:169-174.

- Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; Haan, C.** 2006. Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options, Rome, FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations, Copenhagen, Denmark
- Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, MY; De Storm, IMLD; Hellwing, ALF; Nielsen, NI; Madsen, J.** 2012. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants (en línea). *Animals (Basel)* 2(2):160-183. Consultado 15 may. 2020. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4494326/#B103-animals-02-00160>.
- Suquisupa, CT.** 2019. Emisión de óxido nitroso en sistemas de producción lechera en praderas naturales altoandinas durante la época seca. Tesis Magister Scientiae en Producción Animal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Peru.
- Tremblay, FJB; Massé, DI.** 2008. Instrumentation for precise quantification of methane emissions from dairy herd. *Canadian Biosystems Engineering* 50:21-28.
- Tubiello, F; Córdor, R; Salvatore, M; Piersante, A; Federici, S; Ferrara, A; Rossi, S; Frammini, A; Cárdenas, O; Biancalani, R; Jacobs, H; Prasula, P; Prospero, P.** 2015. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura: Un manual para abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo. (FAO, Ed.) Roma, Italia.
- Uribe, J.** 2008. Producción y composición lechera de vacunos en diferentes épocas del año pastoreando en una asociación Rye grass-Dactylis-Trebol en la sierra central. Tesis Magister Scientiae. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Van Aardenne, JA; Dentener, FJ; Olivier, JGJ; Klein Goldewijk, CGM; Lelieveld, J.** 2001. A high resolution dataset of historical anthropogenic trace gas emissions for the period 1890-1990. *Global Biogeochemical Cycles* 15(4):909-28.

- Van Soest, PJ.** s.f. Evaluación de forrajes y calidad de alimentos para rumiantes. Universidad de Cornell. Nueva York, Estados Unidos de América.
- Van, H.** 2014. Carbon Footprint of milk produced in extensive and intensive dairy production systems in Peru and potential for mitigation through diet optimization. Faculty of Bioscience Engineering. Master`s Thesis. Universiteit Gent.
- Vargas, B; Solís, O; Sáenz, F; León, H.** 2013. Caracterización y clasificación de hatos lecheros en Costa Rica mediante análisis multivariado (en línea). *Agronomía Mesoamericana* 2(24):257-275. Consultado 19 feb. 2021. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_meso/v24n02_257.pdf.
- Vargas, P.** 2009. El cambio climático y sus efectos en el Perú (en línea). Banco Central de Reserva del Perú. Consultado 21 jun. 2020. Disponible en <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Documentos-de-Trabajo/2009/Documento-de-Trabajo-14-2009.pdf>.
- Vermorel, M.** 1995. Emissions annuelles de méthane d'origine digestive par les bovins en France. Variations selon le type d'animal et le niveau de production. *INRA Production Animale* 8:265-272.
- Vermorel, M; Coulon, JB.** 1998. Comparison of the National Research Council energy system for lactating cows with four european systems. *Journal of Dairy Science* 81: 846-855.
- Viera Valencia.** 2013. Parámetros de calidad de leche de vacuno en los distritos de Apata, Marcahuasi y Concepción en el Valle del Mantaro. Tesis Ingeniero zootecnista. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Villanueva, G; Martínez, P; Casanova, F; Ramírez, L; Montañez, E.** 2015. Carbon storage in livestock systems with and without live fences of *Gliricidia sepium* in the humid tropics of Mexico. *Agroforestry Systems*. 23:123-132.

Yan, T; Mayne, CS; Porter, MG. 2006. Effects of dietary and animal factors on methane production in dairy cows offered grass silage based diets (en línea). International Congress Series 2006;1293:123-26. Consultado 15 jun. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ics.2006.02.024>.

Yates, CM; Cammel, SB; France, J; Beever, DE. 2000. Prediction of methane emissions from dairy cows using multiple regression analysis. Proceedings of the British Society of Animal Science. p. 94.

Zúñiga González, N. 2016. Estimación de las emisiones en bovinos en los sistemas de producción lechera en pequeña escala a través del factor de conversión de metano. Tesis Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. México, Universidad Autónoma del Estado de México.

Zúñiga, N; Brunett Pérez, L; Espinosa Ayala, E; Hernández García, PA, Martínez Olvera, RE. 2012. La ganadería y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI): un nuevo paradigma a considerar (en línea). 13er Congreso Nacional de Investigación Socioeconómica y Ambiental de la Producción Pecuaria. Consultado 01 may. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Octavio_Barrera-Perales/publication/273693262_Caracterizacion_e_importancia_socioeconomica_y_ambiental_de_la_produccion_caprina_en_el_Altiplano_Potosino/links/550892cd0cf2d7a2812a97bc.pdf#page=483.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Base de datos de peso de las vacas

| PRODUCTORES | PESOS | | | | | PROMEDIO |
|--------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----------------|
| P1 Seca | 493 | 455 | 421 | 425 | - | 448.5 |
| P2 Seca | 475 | 438 | 422 | 508 | 472 | 463.0 |
| P3 Seca | 505 | 475 | 488 | 422 | 421 | 462.2 |
| P4 Seca | 428 | 418 | 515 | 347 | 511 | 443.8 |
| P5 Seca | 432 | 447 | 468 | 437 | - | 446.0 |
| P6 Seca | 492 | 398 | 511 | 473 | 453 | 465.4 |
| P7 Seca | 437 | 458 | 489 | 429 | 501 | 462.8 |
| P1 Inicio Luvias | 475 | 463 | 462 | 486 | 469 | 471.0 |
| P2 Inicio Luvias | 462 | 422 | 409 | 423 | - | 429.0 |
| P3 Inicio Luvias | 495 | 520 | 422 | 472 | 477 | 477.2 |
| P4 Inicio Luvias | 474 | 466 | 424 | 476 | 489 | 465.8 |
| P5 Inicio Luvias | 465 | 451 | 431 | 490 | 494 | 466.2 |
| P6 Inicio Luvias | 456 | 437 | 489 | 492 | - | 468.5 |
| P7 Inicio Luvias | 427 | 462 | 490 | 510 | 427 | 463.2 |

Anexo 2: Base de datos de producción y composición de leche

| PRODUCTORES | Producción de leche (kg) | Producción de grasa (g/d) | LCG 4% (kg) | Grasa (%) | SNG (%) | Sólidos totales (%) | Proteína (%) | Lactosa (%) |
|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|----------------------------|---------------------|--------------------|
| P1 Seca | 3.1 | 105.2 | 2.8 | 3.37 | 7.91 | 11.28 | 4.05 | 4.86 |
| P2 Seca | 3.0 | 142.1 | 3.3 | 4.67 | 7.72 | 12.39 | 4.48 | 4.61 |
| P3 Seca | 2.9 | 94.2 | 2.6 | 3.24 | 8.4 | 11.64 | 4.77 | 4.48 |
| P4 Seca | 2.8 | 180.5 | 3.8 | 6.38 | 8.18 | 14.56 | 3.93 | 4.62 |
| P5 Seca | 3.2 | 162.0 | 3.7 | 5.11 | 8.05 | 13.16 | 3.66 | 4.81 |
| P6 Seca | 3.0 | 127.8 | 3.1 | 4.31 | 8.78 | 13.09 | 4.16 | 4.63 |
| P7 Seca | 2.9 | 142.1 | 3.3 | 4.94 | 8.85 | 13.79 | 4.39 | 4.77 |
| P1 Inicio Luvias | 4.0 | 222.7 | 4.9 | 5.57 | 8.37 | 13.94 | 4.21 | 4.57 |
| P2 Inicio Luvias | 3.9 | 168.8 | 4.1 | 4.28 | 8.5 | 12.78 | 4.16 | 4.48 |
| P3 Inicio Luvias | 4.3 | 163.5 | 4.2 | 3.83 | 8.57 | 12.4 | 4.08 | 4.62 |
| P4 Inicio Luvias | 4.3 | 147.8 | 3.9 | 3.42 | 9.01 | 12.43 | 4.5 | 4.67 |
| P5 Inicio Luvias | 4.1 | 160.9 | 4.0 | 3.97 | 8.06 | 12.03 | 3.99 | 4.28 |
| P6 Inicio Luvias | 4.6 | 215.4 | 5.1 | 4.69 | 8.84 | 13.53 | 4.08 | 4.96 |
| P7 Inicio Luvias | 4.3 | 184.1 | 4.5 | 4.26 | 8.33 | 12.59 | 3.81 | 4.8 |

Anexo 3: Base de datos de la composición química de pastos

| COMPONENTES | SECA | | INICIO DE LLUVIAS | |
|--|---------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | Pasto Natural | Pasto Cultivado | Pasto Natural | Pasto Cultivado |
| Proteína Total (N x 6,25), % | 3.1 | 21.6 | 3.1 | 18.1 |
| Grasa cruda, % | 1.5 | 1.8 | 0.4 | 2.0 |
| Fibra Cruda, % | 33.2 | 22.3 | 47.4 | 29.7 |
| Ceniza, % | 6.5 | 9.1 | 3.5 | 8.0 |
| ELN, % | 55.6 | 45.2 | 45.7 | 42.3 |
| Energía total, (Kcal/Kg MS) | 3854.66 | 3995.57 | 4314.12 | 4309.58 |
| Fibra detergente ácido - FDA, % | 38.7 | 24.8 | 54.4 | 29.5 |
| Fibra detergente neutro - FDN, % | 66.4 | 34.0 | 70.6 | 39.6 |
| Dig. In vitro Ap. M.S, % | 41.3 | 52.5 | 58.8 | 75.0 |
| NDT Calculado para vacunos, %M.S. | 58.0 | 63.3 | 51.6 | 62.9 |
| Energía metabolizable para vacunos, Mcal/Kg M.S. | 1.79 | 2.47 | 1.85 | 2.35 |

Anexo 4: Base de datos de consumo de alimento

| PRODUCTORES | CMS (kg/día) | CCz (g/día) | CPC (g/día) | CFDN (g/día) | CEB (MJ/día) | CEM (MJ/día) | CMO (kg/día) |
|------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| P1 Seca | 10.48 | 727.47 | 646.76 | 6400.27 | 170.16 | 83.20 | 9.75 |
| P2 Seca | 10.90 | 756.77 | 672.81 | 6658.05 | 177.01 | 86.55 | 10.15 |
| P3 Seca | 10.60 | 735.93 | 654.29 | 6474.71 | 172.14 | 84.16 | 9.87 |
| P4 Seca | 10.78 | 748.45 | 665.41 | 6584.79 | 175.06 | 85.59 | 10.03 |
| P5 Seca | 10.76 | 747.23 | 664.33 | 6574.08 | 174.78 | 85.45 | 10.02 |
| P6 Seca | 10.85 | 753.03 | 669.48 | 6625.11 | 176.14 | 86.12 | 10.10 |
| P7 Seca | 10.87 | 754.85 | 671.11 | 6641.17 | 176.56 | 86.33 | 10.12 |
| P1 Inicio Luvias | 11.62 | 486.57 | 636.45 | 7622.16 | 209.84 | 92.23 | 11.13 |
| P2 Inicio Luvias | 10.65 | 445.93 | 583.29 | 6985.57 | 192.31 | 86.02 | 10.20 |
| P3 Inicio Luvias | 11.43 | 478.46 | 625.84 | 7495.08 | 206.34 | 92.29 | 10.95 |
| P4 Inicio Luvias | 11.17 | 467.71 | 611.77 | 7326.62 | 201.70 | 90.21 | 10.70 |
| P5 Inicio Luvias | 11.21 | 469.33 | 613.90 | 7352.10 | 202.40 | 90.53 | 10.74 |
| P6 Inicio Luvias | 11.63 | 486.93 | 636.92 | 7627.84 | 209.99 | 93.92 | 11.14 |
| P7 Inicio Luvias | 11.33 | 474.48 | 620.64 | 7432.81 | 204.62 | 91.52 | 10.86 |

Anexo 5: Base de datos de emisión de metano

| PRODUCTORES | Emisión de CH ₄ | | | | |
|------------------|--|---|--|----------------------------|---------------------------------|
| | Por fermentación entérica (kgCO ₂ -eq/vaca/día) | Por gestión de estiércol (kgCO ₂ -eq/vaca/día) | Total Metano kg CO ₂ -eq/vaca/día | Metano entérico g/vaca/día | kg CO ₂ -eq/kg leche |
| P1 Seca | 5.570 | 0.110 | 5.680 | 198.9 | 1.820 |
| P2 Seca | 5.795 | 0.115 | 5.909 | 207.0 | 1.942 |
| P3 Seca | 5.635 | 0.111 | 5.746 | 201.3 | 1.977 |
| P4 Seca | 5.731 | 0.113 | 5.844 | 204.7 | 2.066 |
| P5 Seca | 5.722 | 0.113 | 5.835 | 204.3 | 1.841 |
| P6 Seca | 5.766 | 0.114 | 5.880 | 205.9 | 1.983 |
| P7 Seca | 5.780 | 0.114 | 5.894 | 206.4 | 2.048 |
| P1 Inicio Luvias | 7.350 | 0.152 | 7.502 | 262.5 | 1.876 |
| P2 Inicio Luvias | 6.736 | 0.139 | 6.876 | 240.6 | 1.743 |
| P3 Inicio Luvias | 7.228 | 0.150 | 7.377 | 258.1 | 1.728 |
| P4 Inicio Luvias | 7.065 | 0.146 | 7.211 | 252.3 | 1.668 |
| P5 Inicio Luvias | 7.090 | 0.147 | 7.236 | 253.2 | 1.786 |
| P6 Inicio Luvias | 7.356 | 0.152 | 7.508 | 262.7 | 1.635 |
| P7 Inicio Luvias | 7.168 | 0.148 | 7.316 | 256.0 | 1.692 |

Anexo 6: Base de datos de emisión de óxido nitroso

| PRODUCTORES | Emisión de N ₂ O | |
|------------------|--|--|
| | Total Óxido nitroso (kgCO ₂ -eq/vaca/día) | kgCO ₂ -eq/ kg excreta en Base Seca |
| P1 Seca | 0.598 | 0.102 |
| P2 Seca | 0.616 | 0.105 |
| P3 Seca | 0.591 | 0.101 |
| P4 Seca | 0.640 | 0.110 |
| P5 Seca | 0.633 | 0.108 |
| P6 Seca | 0.629 | 0.107 |
| P7 Seca | 0.627 | 0.107 |
| P1 Inicio Luvias | 0.679 | 0.114 |
| P2 Inicio Luvias | 0.608 | 0.102 |
| P3 Inicio Luvias | 0.655 | 0.110 |
| P4 Inicio Luvias | 0.605 | 0.101 |
| P5 Inicio Luvias | 0.656 | 0.110 |
| P6 Inicio Luvias | 0.652 | 0.109 |
| P7 Inicio Luvias | 0.661 | 0.111 |

Anexo 7: Base de datos de emisión de GEI

| PRODUCTORES | Emisión de GEI | | | |
|------------------|---|---|---|--------------------------------|
| | Emisión de CH4 (kgCO ₂ -eq/vaca/día) | Emisión de N2O (kgCO ₂ -eq/vaca/día) | Emisión de GEI (kgCO ₂ -eq/vaca/día) | kgCO ₂ -eq/kg leche |
| P1 Seca | 5.680 | 0.598 | 6.279 | 2.012 |
| P2 Seca | 5.909 | 0.616 | 6.525 | 2.144 |
| P3 Seca | 5.746 | 0.591 | 6.337 | 2.180 |
| P4 Seca | 5.844 | 0.640 | 6.485 | 2.292 |
| P5 Seca | 5.835 | 0.633 | 6.467 | 2.040 |
| P6 Seca | 5.880 | 0.629 | 6.509 | 2.195 |
| P7 Seca | 5.894 | 0.627 | 6.521 | 2.266 |
| P1 Inicio Luvias | 7.502 | 0.679 | 8.181 | 2.046 |
| P2 Inicio Luvias | 6.876 | 0.608 | 7.484 | 1.897 |
| P3 Inicio Luvias | 7.377 | 0.655 | 8.032 | 1.882 |
| P4 Inicio Luvias | 7.211 | 0.605 | 7.816 | 1.808 |
| P5 Inicio Luvias | 7.236 | 0.656 | 7.892 | 1.948 |
| P6 Inicio Luvias | 7.508 | 0.652 | 8.160 | 1.777 |
| P7 Inicio Luvias | 7.316 | 0.661 | 7.977 | 1.845 |

Anexo 8: Ecuación de tasa de ingesta de N para vacunos (IPCC 2019)

$$N_{ingesta} = \frac{GE}{18.45} * \left[\frac{CP\%}{6.25} \right]$$

Donde:

$N_{ingesta}$ = N consumido, kg N animal⁻¹ día⁻¹

GE = Consumo de energía bruta del animal, MJ animal⁻¹ día⁻¹

18.45 = Fracción de conversión para GE de la dieta por kilogramo de materia seca

CP% = Porcentaje de proteína cruda de la dieta, %

6.25 = Conversión de kg de proteína cruda a kg de N

Anexo 9: Ecuación de tasa de excreción anual de N (IPCC 2019)

$$N_{\text{ex}} = N_{\text{ingesta}} * (1 - N_{\text{retenido}}) * 365$$

Donde:

N_{ex} = Tasa de excreción anual de N, kg N animal⁻¹ año⁻¹

N_{ingesta} = N consumido diario por animal, kg N animal⁻¹ día⁻¹

N_{retenido} = Fracción de la ingesta anual de N retenida por animal, kg N animal⁻¹ día⁻¹

Anexo 10: Ecuación de tasa de retención anual de N (IPCC 2019)

$$N_{\text{retenido}} = \left[\frac{\text{Leche} * \left(\frac{\text{Leche PR \%}}{100} \right)}{6.38} \right] + \left[\frac{268 - \left(\frac{7.03 * \text{NEg}}{\text{WG}} \right)}{\frac{1000}{6.25}} \right]$$

Donde:

N_{retenido} = Fracción de la ingesta anual de N retenida por animal, kg N animal⁻¹ día⁻¹

Leche = Producción de leche diaria, kg animal⁻¹ día⁻¹

Leche PR% = Porcentaje de proteína en la leche, %

6.38 = conversión de proteína de la leche a N de la leche

268 y 7.03 = constantes

NEg = Energía neta para ganancia de peso, MJ día⁻¹

WG = aumento de peso, kg día⁻¹

1000 = conversión de gramos a kilogramos

6.25 = conversión de proteína cruda a nitrógeno en la dieta

Anexo 11: Ecuación para estimar la cantidad de excreta producida

La cantidad de excreta total en materia seca de vacas en producción se estimó mediante la siguiente ecuación (Hollman et al. 2008):

$$\text{Excreta} \left(\frac{\text{kgMS}}{\text{día}} \right) = \text{Leche} * 0.0874 + 5.6$$

Donde:

Excreta (kgMS/día) = Excreta total producida por vaca al día, kgMS animal⁻¹ día⁻¹

Leche = Producción de leche diaria, kg animal⁻¹ día⁻¹

Anexo 13: Plantilla para cálculo emisiones de metano por gestión de estiércol

| Muestra | DE, % | GE (MJ/vaca/día) | EU: Energía urinaria como fracción de GE | CzH: Contenido de Ceniza en heces (proporción) | VS (kg MS/vaca/día) = $\frac{(GE*(1-(DE/100)))+(EU*GE))*(1-CzH)}{18,45}$ | Bo (kgCH4 por kg VS) | A = $\frac{\sum(MCF*MMS)}{100}$ | EF (kgCH4/vaca/año) = $\frac{(VS*365)*(Bo*0,6)}{7*A}$ | Emisión de CH4 por manejo de estiércol (kg CH4/vaca/día) = $\frac{EF}{365}$ |
|---------|-------|------------------|--|--|--|----------------------|---------------------------------|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Anexo 14: Plantilla para cálculo de emisiones directas de óxido nitroso por manejo de estiércol

| Muestra | GE (MJ/ vaca/ día) | PC: proteína cruda (%) | N: Consumo de N (kg N/animal/día) = (GE/18,45)*((P C/100)/6,25) | PL: Producción de leche al día | PCL= proteína en leche (%) | GP: Ganancia de peso por día (Kg) | N _{ret,N} retenido (kgN) =((PL*(PCL/10 0))/6,38)+((GP *(268- (7,03*NEg)/G P)))/(1000*6,2 5)) | N _{ret_frac} =N-N _{ret} | N _{ex} (kg animal/año) =N*(1 - N _{ret_frac})* 365 | SUM = Σ(FR _{Amnis} * EF3)/100 | EF (Kg N2O/vaca/a ño) = Nex * SUM * 44/28 | Emisión de N2O por vaca al mes = EF/12 |
|---------|--------------------------|------------------------------|---|---|-------------------------------------|---|--|--|--|--|---|---|
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Anexo 15: Plantilla para cálculo de emisiones indirectas de óxido nitroso por manejo de estiércol

| Muestras | GE (MJ/vaca/día) | PC: proteína cruda (%) | N: Consumo de N (kg N/animal/día) = $(GE/18,45) * ((PC/100)/6,25)$ | PL: Producción de leche al día | PCL= proteína en leche (%) | GP: Ganancia de peso por día (Kg) | $N_{ret_N\ retenido} (kgN) = ((PL * (PCL/100)) / 6,38) + ((GP * (268 - ((7,03 * NEg) / GP))) / (1000 * 6,25))$ | $N_{ret_frac} = N - N_{ret}$ | Nex (kg animal/año) = $N * (1 - N_{ret_frac} * 365)$ | SUM = $\sum [FRAmms * (FRACgas / 100)]$ | EF4 | Emisión indirecta de N2O po gestión de estiércol (Kg N2O/año) = Nex * SUM * EF4* 44/28 |
|----------|------------------|------------------------|--|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------|---|---|-----|--|
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Anexo 18: Modelo de encuesta a productores

| | | |
|----|---|--|
| 1 | Productor: | _____ |
| 2 | Ubicación | _____ |
| 3 | Sistema productivo: | () Extensivo () Semi intensivo () Intensivo |
| 4 | Tipo de pastoreo: | _____ |
| 5 | Nº ordeños al día: | _____ |
| 6 | ¿Se hace conservación de pastos? | () SI () NO |
| 7 | ¿Se realiza tratamiento de heces? | () SI () NO |
| | Limitaciones: | _____ |
| | <u>Animales:</u> | |
| 8 | Nº Vacas en lactación: | _____ |
| 9 | Peso vivo (kg): | <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> |
| 10 | Producción de leche (kg/v/d): | <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> |
| 11 | Nº partos: | <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> |
| | <u>Alimentación:</u> | |
| 12 | Nº de raciones diarias: | _____ |
| 13 | Composición de la dieta: | <input type="text"/> |
| 14 | Nº días de pastoreo en pasto natural: | _____ |
| 15 | Nº cortes al año de alfalfa: | _____ |
| 16 | Nº días de pastoreo en pasto cultivado: | _____ |

Anexo 19: Pasto natural en época seca del Distrito de San Pedro de Pillas



Anexo 20: Ganado vacuno del distrito de San Pedro de Pillas



Anexo 21: Visita a comuneros del distrito

