

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

POSTGRADO: MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL



**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIA
ANIMAL**

**“INVENTARIO DE EMISIÓN DE GASES DE METANO DEBIDAS A LA
FERMENTACIÓN ENTÉRICA Y MANEJO DE ESTIÉRCOL PROVENIENTES DE
LA GANADERÍA BOVINA EN BOLIVIA”**

Postulante:

Ing. Viviana Condori Quispe

Tutor:

Ing. Ph. D. Emilio García Apaza

La Paz – Bolivia

2018

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

POSTGRADO: MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL

“INVENTARIO DE EMISIÓN DE GASES DE METANO DEBIDAS A LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA Y MANEJO DE ESTIÉRCOL DE LA GANADERÍA BOVINA EN BOLIVIA”

Tesis de Maestría presentado como requisito parcial para optar el
Título de Maestro en
Ciencias Animal

VIVIANA CONDORI QUISPE

Asesor:

Ing. Ph.D. Emilio García Apaza

Tribunal Examinador:

Ing. Ph.D. Juan Carlos Torrico Albino

Ing. M.Sc. Genaro Condori Choque

Ing. M.Sc. Isidro Callizaya Mamani

Aprobado:

Ing. M.Sc. Teresa Ruiz-Díaz Luna-Pizarro
Presidente Tribunal Examinador

La Paz – Bolivia
2019

DEDICATORIA

A ti Señor Jesús por guiarme hacia un camino lleno de satisfacciones y felicidad, permitirme culminar una meta más, y darme fortaleza cuando ya no podía más.

A mi hija Meliza Amparo por ser mi mayor inspiración, por su comprensión, atención y fortaleza, es por eso que dedico éste triunfo quien es el motivo fundamental en mi vida, que de una u otra manera contribuyó para este logro.

A mis hnos. Teresa P. Emilio C. por su amistad sincera y sus oraciones constantes quien me motivó encontrar este logro.

A mis padres por ser la expresión moral y Espiritual.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a:

- A Dios primero un profundo agradecimiento, por haberme guiado los momentos más difíciles, y escucharme cuando sentí no poder más, me dió fortaleza y constancia para cumplir una más de mis metas, y guiarme siempre por el camino del bien, este logro es prueba de eso, gracias Señor Jesús.

- A la Universidad Mayor de San Andrés, “Facultad de Agronomía”, que mediante las autoridades y docentes me brindaron una sólida formación y lograron que culmine con éxito una más de mis etapas académicas.

A mí asesor:

- Al Ing. Ph D. Emilio García Apaza, un agradecimiento especial por su aporte y guía en este inventario que sella y da cuenta de un testimonio de trabajo, entrega y voluntad, por los consejos y amistad que no tiene precio, principalmente por el tiempo dedicado a las correcciones de los borradores resaltando su paciencia.

- Deseo dejar constancia de mis sinceros agradecimientos y amistad al Ing. Ivar Arana Pardo.

A mis revisores:

- Al Ing. Ph.D. Juan Carlos Torrico Albino, un infinito agradecimiento por sus observaciones, y sugerencias acertadas de aporte científico, para realizar el trabajo de investigación.

- Al Ing. Msc. Genero Condori Choque, por los valiosos aportes y por haberme brindado su ayuda incondicional en la elaboración y corrección de este trabajo de inventario.

- Al Ing. Msc. Isidro Callisaya Mamani, que contribuyó con sus conocimientos acertadas en el presente inventario.

A mis amigos y familia:

- A mí querida hija por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional en todo momento, Dios la bendiga.

- A mis colegas, amigos y hermanos en Cristo por apoyarme moralmente en todo momento que Dios los bendiga siempre.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| Título..... | I |
| Dedicatoria..... | II |
| Agradecimientos..... | III |
| Índice de General..... | IV |
| Índice de Cuadros..... | VII |
| Índice de Gráficas..... | VIII |
| Glosario de términos..... | X |
| Resumen ejecutivo..... | XII |
| Ejecutive summary..... | XIII |
| | |
| 1. INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.1. OBJETIVOS..... | 4 |
| 1.1.1. Objetivo general..... | 4 |
| 1.1.2. Objetivo específico..... | 4 |
| 1.1.3. Hipótesis..... | 4 |
| 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 5 |
| 2.1. El cambio climático..... | 5 |
| 2.2. Estimación de Gases de Efecto Invernadero..... | 5 |
| 2.2.1. Gases de Efecto Invernadero..... | 5 |
| 2.3. Ganadería bovina..... | 6 |
| 2.3.1. Población de ganado bovino en Bolivia..... | 7 |
| 2.3.2. Gases de efecto invernadero y su contribución al calentamiento global en la actividad ganadera bovina..... | 9 |
| 2.3.2.1. Gases de efecto invernadero directo..... | 9 |
| 2.3.2.2. Gases de efecto invernadero indirecto..... | 10 |
| 2.4. Producción de gases de metano en rumiantes y su impacto ambiental..... | 10 |
| 2.4.1. Emisiones de metano de la ganadería bovina en Bolivia..... | 11 |
| 2.4.2. Origen de las emisiones de la población ganadería bovina..... | 11 |
| 2.4.2.1. Emisiones del Gas Metano por Fermentación Entérica..... | 12 |
| 2.4.2.2. Generalidades metabólicas a nivel ruminal..... | 13 |
| 2.4.2.3. Formación de metano..... | 14 |
| 2.4.2.3.1. Emisiones de gases de metano por rumiantes..... | 15 |
| 2.4.2.3.2. Metano..... | 15 |
| 2.5. Emisión de gases de metano procedente de manejo del estiércol..... | 15 |
| 2.5.1. Gestión de estiércol..... | 17 |
| 2.6. Importancia de emisiones de gases de metano entérico..... | 17 |
| 2.6.1. La metanogénesis en el ganado bovino..... | 17 |
| 2.6.2. Ganadería lechera..... | 19 |
| 2.6.3. Especies forrajeras y la producción de metano entérico..... | 19 |

| | |
|--|----|
| 2.7. Factor de emisión..... | 19 |
| 2.7.1. Digestibilidad aparente en la región de las tierras altas..... | 20 |
| 2.7.2. Digestibilidad aparente en la región de los valles..... | 21 |
| 2.7.3. Digestibilidad en la región de las tierras bajas..... | 22 |
| 2.7.3.1. Consumo diferenciado y emisión de metano entérico..... | 23 |
| 2.8. Características de las emisiones en la ganadería..... | 24 |
| 2.9. Emisión de metano en sistemas de producción..... | 24 |
| 2.9.1. Emisión de metano en sistemas extensivos..... | 24 |
| 2.9.2. Emisión de metano en sistemas intensivos..... | 25 |
| 2.10. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático..... | 25 |
| 2.10.1. Inventario de emisiones de GEI en la CMNUCC..... | 26 |
| 2.10.2. Módulo Agropecuario..... | 27 |
| 2.11. Análisis de Incertidumbre..... | 28 |
| 3. LOCALIZACIÓN..... | 29 |
| 3.1. Ubicación geográfica..... | 29 |
| 3.2. Características geográficas y climáticas..... | 29 |
| 4. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 31 |
| 4.1. Materiales..... | 31 |
| 4.1.1. Material de gabinete..... | 31 |
| 4.2. Metodología de estimación..... | 31 |
| 4.2.1. Población ganadera bovina categorizada, años 2008 al 2017..... | 32 |
| 4.2.2. Factores de Emisión Nacionales..... | 33 |
| 4.2.2.1. Nivel de cálculo..... | 38 |
| 4.3. Análisis de la incertidumbre por datos de actividad..... | 39 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 41 |
| 5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN GANADERA BOVINA EN BOLIVIA..... | 41 |
| 5.1.1. Región de las Tierras Altas..... | 41 |
| 5.1.2. Región del Valle..... | 44 |
| 5.1.3. Región de Tierras Bajas..... | 45 |
| 5.1.4. Incremento en porcentaje de la ganadería bovina en Bolivia de las tres regiones..... | 48 |
| 5.1.5. Análisis poblacional de la ganadería bovina por regiones y categorías..... | 49 |
| 5.2. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE METANO PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA POR REGIONES Y CATEGORÍAS..... | 52 |
| 5.2.1. Región de las Tierras altas de Bolivia..... | 52 |
| 5.2.2. Región de los Valles..... | 55 |
| 5.2.3. Región de las Tierras Bajas..... | 57 |
| 5.2.4. Síntesis de las tres regiones de emisión de gases de metano por la fermentación..... | 60 |
| 5.3. EMISIONES DE GASES DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA EN LAS CUATRO CATEGORÍAS..... | 63 |
| 5.3.1. Ganado bovino lechero..... | 63 |
| 5.3.2. Ganado bovino joven..... | 65 |
| 5.3.3. Ganado bovino no lechero..... | 67 |
| 5.3.4. Ganado bovino bueyes..... | 68 |

| | |
|--|-----|
| 5.3.5. RELACION ENTRE EL PORCENTAJE, DE POBLACION Y EMISIÓN DE GASES DE METANO POR REGIONES Y CATEGORÍAS..... | 70 |
| 5.3.5.1. Porcentaje de población y emisión en tierras alta de Bolivia..... | 70 |
| 5.3.5.2. Porcentaje de población y emisión en valles de Bolivia..... | 71 |
| 5.3.5.3. Porcentaje de población y emisión en tierras bajas de Bolivia..... | 73 |
| 5.4. EMISIONES DE GAS METANO DEBIDAS AL MANEJO DE ESTIÉRCOL..... | 75 |
| 5.4.1. Región de tierras altas..... | 75 |
| 5.4.2. Región de Valles..... | 77 |
| 5.4.3. Región de las tierras bajas..... | 80 |
| 5.5. ESTIMACIÓN DE EMISIONES TOTALES DE METANO PROVENIENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA Y MANEJO DE ESTIÉRCOL DEL GANADO BOVINO 2008 - 2017..... | 82 |
| 5.5.1. Estimación de emisiones totales provenientes de la ganadería bovina..... | 82 |
| 5.5.2. Estimación de misiones totales de gases de metano por fermentación entérica..... | 85 |
| 5.5.3. Estimación de emisiones totales de gases de metano debidas al manejo de estiércol..... | 86 |
| 5.6. INCERTIDUMBRE POR DATOS DE ACTIVIDAD..... | 88 |
| 5.6.1. Estimación de incertidumbres..... | 88 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 92 |
| 7. RECOMENDACIONES..... | 94 |
| 7. BIBLIOGRAFIA..... | 96 |
| 8. ANEXO..... | 108 |

ÍNDICE DE CUADRO

| | | |
|-------------------|---|----|
| Cuadro 1. | Razas apropiados por departamento..... | 8 |
| Cuadro 2. | Gases de efecto invernadero directo..... | 9 |
| Cuadro 3. | Gestión de estiércol..... | 17 |
| Cuadro 4. | Digestibilidad aparente en porcentajes de estudios realizados en altiplano de Bolivia..... | 20 |
| Cuadro 5. | Digestibilidad promedio para la alimentación de ganado bovino en Valles...21 | |
| Cuadro 6. | Digestibilidad alimentaria de diferentes categorías de ganado..... | 23 |
| Cuadro 7. | Población ganadera bovina en la región de las tierras altas de Bolivia..... | 41 |
| Cuadro 8. | Población ganadera bovina en la región de los valles de Bolivia..... | 44 |
| Cuadro 9. | Población ganadera bovina en las tierras bajas de Bolivia..... | 45 |
| Cuadro 10 | Incremento en porcentaje de la población bovina de las tres regiones..... | 48 |
| Cuadro 11. | Estimación de emisión de gases de metano por fermentación entérica en las tierras altas de Bolivia..... | 52 |
| Cuadro 12. | Estimación de emisión de gases de metano por fermentación entérica en la región del valle..... | 55 |
| Cuadro 13. | Estimación de emisión de gases de metano por fermentación entérica en las tierras bajas de Bolivia..... | 57 |
| Cuadro 14. | Estimación de emisiones del gas metano por el manejo de estiércol en la región de las Tierras altas de Bolivia..... | 75 |
| Cuadro 15. | Estimación de emisiones del gas metano por el manejo de estiércol en la región del Valle de Bolivia..... | 78 |
| Cuadro 16. | Estimación de emisiones del gas metano por el manejo de estiércol en la región de las Tierras bajas de Bolivia..... | 80 |
| Cuadro 17. | Emisiones totales por fermentación entérica y manejo de estiércol..... | 82 |
| Cuadro 18. | Emisiones totales por fermentación entérica 2008 – 2017..... | 85 |
| Cuadro 19. | Emisiones totales por manejo de estiércol 2008 – 2017..... | 87 |
| Cuadro 20. | Incertidumbres en las emisiones del gas metano en la fermentación entérica y manejo de estiércol para los años 2010 – 2017..... | 89 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 1. | Balance de energía generado por el efecto invernadero natural. | 6 |
| Figura 2. | Origen de emisión de gas metano por la población ganadera bovina..... | 12 |
| Figura 3. | Metabolismo a nivel ruminal..... | 13 |
| Figura 4. | Fermentación ruminal a partir de la glucosa..... | 18 |
| Figura 5. | Categorías Módulo Agropecuario..... | 27 |
| Figura 6. | Mapa simplificado de ecoregiones de Bolivia..... | 29 |
| Figura 7. | Población ganadera bovina de la región de las tierras altas de Bolivia..... | 42 |
| Figura 8. | Población ganadera bovina de la región del valle..... | 44 |
| Figura 9. | Población ganadera bovina en las tierras Bajas de Bolivia..... | 46 |
| Figura 10. | Promedio de la población ganadera bovina por regiones y categoría 2008- 2017..... | 49 |
| Figura 11. | Emisiones de gases de CH ₄ provenientes del ganado bovino por fermentación entérica en las tierras altas de Bolivia..... | 53 |
| Figura 12. | Emisiones del gas CH ₄ provenientes del ganado bovino por fermentación entérica en la región de los valles de Bolivia..... | 56 |
| Figura 13. | Emisiones de gases de CH ₄ provenientes del ganado bovino por fermentación entérica en la región de las tierras bajas de Bolivia..... | 58 |
| Figura 14. | Promedio de emisión de gases de CH ₄ por fermentación entérica en las regiones (tierras altas, valles y tierras bajas) categorizadas 2008 – 2017..... | 61 |
| Figura 15. | Emisiones de gases de CH ₄ provenientes de la fermentación entérica de la categoría lechero..... | 63 |
| Figura 16. | Emisiones de gases de CH ₄ provenientes de la fermentación entérica de la categoría joven..... | 65 |
| Figura 17. | Emisiones del gas CH ₄ provenientes de la fermentación entérica en la categoría no lechero..... | 67 |
| Figura 18. | Emisiones del gas CH ₄ provenientes de la fermentación entérica en la categoría bueyes..... | 69 |
| Figura 19. | Porcentaje de población y emisión de gases de CH ₄ del ganado bovino de tierras altas de Bolivia..... | 70 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 20. | Porcentaje de población y emisión de gases de CH ₄ del ganado bovino de los Valles de Bolivia..... | 72 |
| Figura 21. | Porcentaje de población y emisión de gases de CH ₄ del ganado bovino de tierras bajas de Bolivia..... | 73 |
| Figura 22. | Emisiones del gas CH ₄ provenientes del manejo de estiércol en la región de tierras altas de Bolivia..... | 76 |
| Figura 23. | Emisiones del gas CH ₄ provenientes del manejo de estiércol en los valles de Bolivia..... | 78 |
| Figura 24. | Emisiones del gas CH ₄ provenientes del manejo de estiércol en las tierras bajas de Bolivia..... | 80 |
| Figura 25. | Estimación de emisiones totales de gas CH ₄ provenientes de la fermentación entérica y manejo estiércol en las tres regiones de Bolivia del 2008 – 2017..... | 83 |
| Figura 26. | Estimaciones totales de emisión de gases de CH ₄ provenientes de la fermentación entérica en las tres regiones de Bolivia..... | 85 |
| Figura 27. | Emisiones del gas CH ₄ provenientes del manejo de estiércol en las tres regiones de Bolivia..... | 87 |

INDICE DE ANEXO

| | | |
|-------------------------|--|----|
| Anexo cuadro 1. | Población ganadera bovino en Bolivia (n° cabezas de ganado)..... | 1 |
| Anexo cuadro 2. | Emisiones de gases de metano por fermentación entérica..... | 2 |
| Anexo cuadro 3. | Emisiones del gas metano de manejo de estiércol por regiones y categorías..... | 3 |
| Anexo cuadro 4. | Sumatoria total de fermentación entérica y manejo de estiércol..... | 4 |
| Anexo cuadro 5. | Incertidumbre 2010..... | 5 |
| Anexo cuadro 6. | Incertidumbre 2013..... | 6 |
| Anexo cuadro 7. | Incertidumbre 2017..... | 7 |
| Anexo cuadro 8. | Incertidumbres totales..... | 8 |
| Anexo cuadro 9. | Sumatoria de incertidumbres totales..... | 9 |
| Anexo cuadro 10. | Número de cabezas de ganado bovino por año, según grupo de edades y sexo..... | 10 |
| Anexo cuadro 11. | Porcentaje de fermentación entérica..... | 11 |
| Anexo cuadro 12. | Porcentaje de manejo de estiércol | 12 |
| Anexo Figura 13. | Emisiones de gases de metano por regiones categorizadas..... | 13 |

GLOSARIO DE TERMINOS

Aminoácidos aa: Son sustancias química orgánica que constituye el componente básico de las proteínas, funciona como transporte óptimo de nutrientes y almacenamiento de estas,

Ácidos grasos volátiles AGV: Los ácidos grasos de cadena corta o AGV, son un subgrupo de ácidos grasos con cadenas carbonadas de menos de seis carbonos. Su volatilidad se debe a la corta cadena carbonada que poseen en contraste con los ácidos grasos de cadena larga que son sólidos a temperatura ambiente.

Gases de efecto invernadero GEI: Gases que se liberan a la atmosfera como producto de procesos naturales o actividades humanas.

Cambio climático CC: Variación en el largo plazo de las condiciones promedio del clima a nivel global, originada directa o indirectamente por la actividad humana.

Calentamiento global CG: Incremento gradual de la temperatura superficial del planeta como consecuencia de la capacidad radiante de las emisiones antropogénicas de gases.

CMNUCC: La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático tiene como objetivo general lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático y establece que todas las partes, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo.

Digestibilidad aparente DA: Proporción del alimento consumido que es absorbida por el tracto digestivo y que no es eliminada através de las excretas.

Dióxido de carbono CO₂: Es un gas incoloro y no toxico en condiciones estándar, es la causa principal del gas de efecto invernadero que afecta el balance radioactivo de la tierra. La acumulación de CO₂ y metano en la atmósfera se debe a la imprevisión de los gobernantes.

Fluorocarbonos halogenados HCFCs: Son compuestos químicos que contienen enlaces de carbono y fluor, tienden a romper muy lentamente en el medio ambiente por tanto muchos se consideran contaminantes orgánicos persistentes.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua MMAyA: En el marco de del Plan de Desarrollo y Social promueve el desarrollo equitativo reciproco y en armonía con la Madre Tierra mediante la gestión integral del desarrollo hídrico, al acceso al agua potable y saneamiento, el riego para la seguridad alimentaria.

Hidrofluorocarbonos HFC: Es un gas de efecto invernadero tiene un potencial de calentamiento global 10 veces más alto que el del CO₂, son muy comunes y utilizados alrededor del mundo sobre todo en sistemas de aire acondicionado y de refrigeración aunque no perdura mucho en la atmósfera, su contribución al cambio climático es significativa.

Panel Intergubernamental del Cambio Climático IPCC: Es la organización intergubernamental del Cambio Climático conocido por el acrónimo en inglés IPCC es una organización internacional construido a petición de los gobiernos miembros.

Modelo: Representación de la realidad que describe sus elementos. Puede ser de naturaleza física, matemática o verbal.

Metano CH₄: El metano es de los gases principales del efecto invernadero, su efecto negativo sobre el calentamiento del planeta es 21 veces mayor que el del CO₂.

Óxido nítrico N₂O: Es una molécula gaseosa liposoluble que en el cerebro actúa como neurotransmisor y que lleva a cabo distintas funciones dentro del organismo.

Sistema: Suma de componentes que interactúan entre sí, pero que cada uno de ellos funciona como una sola entidad. Por ejemplo, un sistema de producción lechera involucra pasturas, maquinaria agrícola, animales y trabajo humano. Todos tienen una función y dinámica propias, pero al interactuar logran producir leche.

Simulación: Acción de imitar el comportamiento de un sistema utilizando un modelo que funciona con operaciones matemáticas y lógicas.

Sostenibilidad: Calidad de satisfacer una necesidad presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer esa misma necesidad.

Taninos concentrados (TC): Son sustancias químicas naturales (vegetal) orgánicas que sirven para convertir

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento, muestra los resultados de la estimación de las emisiones de gases de CH₄ a nivel nacional, causado por la ganadería bovina de manera natural mediante el proceso digestivo que ocurre en el rumen del animal, emitiendo entre otros el gas metano, que está influenciada por factores como: el manejo, nutrición y medio ambientales.

El gas CH₄, es uno de los principales gases inducido por la fermentación entérica y manejo de estiércol del ganado bovino, provocando alteraciones en el clima, al incrementar las concentraciones de este gas, contribuyen directamente al efecto invernadero y es una amenaza para el ser vivo. El trabajo pretende ser un pequeño aporte, en la producción pecuaria, con el objetivo de determinar la cantidad de CH₄ emitido a la atmosfera, considerando la recopilación de datos de la población ganadera bovina de Bolivia, y clasificando en tres regiones categorizando por edades (2008 al 2017), basado en la metodología del IPCC, sobre los inventarios Nacionales de GEI.

Los resultados que se obtuvieron, demostraron como el mayor contribuyente de gases de CH₄, la región de las tierras bajas con las vacas lecheras, seguido del ganado joven luego el no lechero, que son estrechamente relacionada con el aumento de su población, siendo el sector que más contribuye con el gas a la atmosfera, y son responsables directos al calentamiento atmosférico.

En la actualidad es muy importantes conocer, los (GEI) provenientes del sector ganadero y se vé el interés de estudio a nivel local. Sin embargo, los efectos del cambio climático que suceden a nivel internacional requieren mayor atención local.

La incertidumbre proviene de dos fuentes: datos de actividad y factores de emisión, el comportamiento durante el periodo 2008 – 2017 fue irregular, el 2012 muestra una cierta disminución en la población, en las cuatro categorías, para posteriores años existe un crecimiento sostenido en menor proporción del nivel de emisiones, causado por efectos del cambio climático.

En conclusión el estudio se realizó en base a la metodología propuesta por el IPCC, comparando tres regiones y categorías por edades de cuatro grupos. Se observó que el incremento poblacional bovina en las tres regiones, fue progresivo, la región de las tierras bajas es la que desarrolló mayor número de cabezas de ganado, razón por la cual se incrementó las emisiones del gas CH₄, a consecuencia de una elevada demanda de alimentos de origen animal (carne y leche) debido al crecimiento de la población humana.

EJECITIVE SUMMARY

This document shows the results of the estimation of emissions of CH₄ gas at a national level, caused by cattle farming naturally through the digestive process that occurs in the rumen of the animal, emitting among others methane gas, which is influenced for factors such as: management, nutrition and the environment.

CH₄ gas is one of the main gases induced by enteric fermentation and manure management of cattle, causing alterations in the climate, by increasing the concentrations of this gas, contribute directly to the greenhouse effect and is a threat to the living being. The work aims to be a small contribution, in livestock production, with the objective of determining the amount of gas emitted into the atmosphere, considering the data collection of the cattle population of Bolivia, and classifying in three regions by age (2008 to 2017), based on the IPCC methodology, on national GHG inventories.

The results that were obtained, proved as the largest gas contributor, the lowland region with the dairy cows, followed by the young cattle then the non-dairy cattle, which are closely related to the increase of its population, being the sector that most contributes methane gas to the atmosphere, and are directly responsible for atmospheric warming.

At present it is very important to know the (GEI) from the livestock sector and we see the interest of study at the local level. However, the effects of climate change that occur at the international level require more local attention.

The emission uncertainty of CH₄ gas comes from two sources: the activity data and emission factors, the behavior of the country during the period 2008 - 2017 was irregular, in 2012 it shows a certain decrease in the population, in the four categories, for Subsequent years there is a sustained growth in a lower proportion of the level of emissions, caused for climate change.

In conclusion, the study was conducted based on the methodology proposed by the IPCC, categorizing the typical cattle of Bolivia comparing three regions and age categories of four groups. It was observed that the bovine population increase in the three regions was progressive, the lowland region was the one that developed the largest number of head of cattle, which is why the emissions of the CH₄ gas increased due to a high demand of food of animal origin (meat and milk) due to the growth of the human population.

1. INTRODUCCIÓN.

El cambio climático generado por el incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) es una de las más serias amenazas ambientales, sociales y económicas que actualmente enfrenta a nivel mundial, consecuentemente es muy importante que cada individuo, del país y del mundo, esté involucrado en buscar estrategias para combatirlo. Las emisiones de GEI tienen, por lo tanto, su origen en diferentes actividades que el ser humano llega a realizar, y según el IPCC (1997), agrupados en los sectores: Energía, Procesos Industriales, Residuos, Usos de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra, Silvicultura, y Agropecuaria. Esta última en forma genérica, agrupa a las actividades agrícolas y el sector pecuario.

Las emisiones más importantes del subsector pecuario tienen que ver con las funciones anaeróbicas del sistema digestivo del ganado, los cuales producen principalmente el metano CH_4 ; sin embargo, por la oxidación de sus residuos, también se llega a producir óxido nitroso N_2O . Dentro de este sector agrícola, existen también actividades que de manera directa o indirecta, como el uso de fertilizantes químicos, leguminosas, podrían incidir mayormente en las emisiones totales. Así la ganadería bovina, como principal emisor del gas metano, que los bovinos producen por la digestión anaeróbica de la materia orgánica.

En Bolivia existe la actividad ganadera, por lo que se produce también las emisiones de GEI provenientes del sector agropecuario. Ya en anteriores inventarios se ha identificado que la mayoría de emisiones de este sector provienen del sector pecuario. Dado el aumento de la población bovina mundial en el último siglo, esta se ha asociado al incremento de la concentración atmosférica de este gas (IPCC, 2006). Las condiciones en el que se desarrolla la actividad ganadera difieren entre los diferentes pisos ecológicos. Por lo que la fermentación entérica y manejo de estiércol, obstaculizan, por lo que es importante aplicar técnicas apropiadas en la determinación de las emisiones de metano.

El sector pecuario, más propiamente en la actividad ganadera, los rumiantes, especialmente el ganado bovino, son los principales emisores de metano, como el mayor aportante de este gas a la atmósfera. En condiciones normales, los rumiantes son alimentados con forrajes que contienen celulosa y el proceso de fermentación hace posible que los microorganismos desdoblén la celulosa, transformándola en productos que pueden ser absorbidos y utilizados por el animal.

Por otro lado, la producción agropecuaria, especialmente la ganadería bovina, está estrechamente relacionada con el calentamiento global, porque es la actividad humana que más influye sobre el cambio climático después del sector energético, y de acuerdo con la FAO, aporta un 18% de los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera, siendo los rumiantes los que más contribuyen sobre todo con dióxido de carbono y el metano. El incremento en las emisiones de metano provenientes de la ganadería bovina se vincula con un aumento en la población de animales a consecuencia de una elevación en la demanda de alimentos de origen animal (carne y leche) debido al crecimiento de la población humana.

La actividad pecuaria en el país fundamentalmente Santa Cruz y Beni, en su mayoría, es de carácter extensivo y predomina el manejo tradicional (en campos de pastoreo natural) y dependiente de los factores climáticos que favorecen asegurar la alimentación del ganado. Por otro lado, el alimento que consume el animal es principalmente forraje de praderas nativas, residuos de cultivos y forrajes secos cultivados para su uso en las épocas de estiaje. Por tanto, se podría aseverar que el desarrollo de la población ganadera depende de la disponibilidad del tipo de ingestas. Los alimentos que se degradan más lentamente (como los carbohidratos estructurales) producen más metano que aquellos que se fermentan a tasas más rápidas (Eun *et al.*, 2004).

Sin embargo, por las actividades de metanogénesis, originan el metano, en el proceso digestivo en los rumiantes en el que los microorganismos participan como parte del sistema digestivo, produce una fermentación anaerobia, el cual es un complejo simbiótico entre diferentes grupos microbiales presentes a lo largo del tracto digestivo, a este proceso microbiano digestivo, se conoce como fermentación entérica. En este período produce el gas metano como un subproducto, el cual es exhalado o eructado por el animal. Los microorganismos del rumen metabolizan los carbohidratos de la dieta forrajera convirtiéndolos en ácidos grasos volátiles como acetato, propionato y butirato. El alimento que el animal ingiere, entran al rumen y allí se fermentan parcialmente, produciendo piruvato, AGV, CH₄, células microbianas y CO₂. Los AGV son absorbidos en su mayoría a través de la pared ruminal y los gases son expulsados mediante el eructo (Blas *et al.*, 2008).

Los bovinos poseen un sistema digestivo que tiene la capacidad de aprovechar y convertir material fibroso con altos contenidos de carbohidratos estructurales en alimentos de alta calidad

nutritiva como es la carne y leche. Sin embargo por sus características innatas, este mismo sistema digestivo también produce metano, un potente gas con efecto invernadero que contribuye con aproximadamente el 18% del calentamiento global ocasionado por actividades productivas con animales domésticos.

El propósito del inventario sobre la caracterización de la población ganadera y la estimación de emisiones de gases de metano provenientes de la ganadería bovina, son parte de las herramientas que podrán responder las siguientes interrogantes:

1. ¿Para qué contribuye determinar la caracterización de la población ganadera bovina, por regiones y tipo de categoría, en el aporte del gas metano a la atmosfera?
2. ¿Cómo se relaciona la estimación del metano producido por la fermentación entérica y manejo de estiércol con los efectos del cambio climático?
- 3 ¿Existe incertidumbre en los datos de actividad como la población ganadera y emisiones del gas metano?

1.1. OBJETIVOS.

1.1.1. Objetivo general.

- Caracterizar el comportamiento de la estimación de emisión de gases de metano provenientes de la fermentación entérica y manejo de estiércol de la ganadería bovina en el Estado Plurinacional de Bolivia.

1.1.2. Objetivos específicos.

- Evaluar la población ganadera bovina en Bolivia, por regiones y categorías entre los años 2008 al 2017.
- Estimar la emisión de gases de metano procedentes de la fermentación entérica y manejo de estiércol en la ganadería bovina, por regiones y categoría.
- Establecer el grado de incertidumbre en la estimación de emisión total por efecto de la ganadería bovina en Bolivia.

1.1.3. Hipótesis.

- Las poblaciones del ganado bovino en Bolivia entre los años 2008 a 2017 permanecen constantes.
- No existe relación entre la población de ganado bovino y la estimación de emisiones de gases de metano,, procedentes de la fermentación entérica y manejo de estiércol, por categorías ni regiones.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. El cambio climático.

El cambio climático (CC) tiene su origen principalmente por el aumento de las concentraciones de gases con actividad radiactiva en la atmosfera llamado gases de efecto invernadero (IPCC, 2006). De la misma manera puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra (Arana *et al.*, 2004). También es considerado como uno de los problemas ambientales más graves debido a sus efectos desencadenantes, y al poner en riesgo la sostenibilidad regional afectando imprevisiblemente las economías globales, nacionales y locales. Consecuentemente, los efectos negativos del CC vienen produciendo una profunda preocupación en la comunidad internacional, ya que se ha atribuido el origen de este problema al incremento de Gases de efecto Invernadero (GEI) producido por las actividades humanas, los cuales se han incrementado desde 1900, periodo en el que se ha iniciado la era industrial. Esta condición ha incrementado no solo la concentración de CH₄ en la atmosfera, sino también el CO₂, el N₂O, y otros gases provenientes de estas actividades (MMAyA-VMAB, 2009; CMNUCC, 1992).

2.2. Estimación de Gases de Efecto Invernadero.

2.2.1. Gases de Efecto Invernadero.

El término "efecto de invernadero" se refiere al papel que desempeña una capa de gases que retiene el calor del Sol en la atmósfera de la Tierra, haciendo que la temperatura interior sea más alta que la exterior. Este fenómeno se produce debido a que la energía generada por el sol llega a la tierra en forma de frecuencia alta, rebotando al exterior en forma de frecuencia baja. Es decir, solo una parte de la energía solar emitida desde la tierra atraviesa la capa de gases de invernadero la otra parte se queda dentro de la tierra haciendo que esta tenga una temperatura media promedio adecuada para el desarrollo del medio ambiente (Reyes, 2002).

El efecto invernadero es causado por la presencia creciente en el aire de una serie de gases que capturan el calor e impiden su salida al espacio exterior. El calor atrapado es transmitido por estos gases al resto de la atmósfera provocando un incremento en la temperatura. Cuanto mayor

sea la presencia de gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, mayor será su capacidad para retener energía y generar más calentamiento en el planeta (Santillán *et al.*, 2013)

Los gases en la atmósfera llamados GEI se componen principalmente de vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), fluorocarbonos halogenados (HCFCs), e hidrofluorocarbonos (HFC) (IPCC, 2006).

Los GEI afectan las temperaturas en la atmósfera través de su retención de calor en su estructura molecular, tornando a la atmósfera como un invernadero. Los GEI regulan la entrada de radiación solar a la superficie terrestre y restringen la salida de energía del mismo, causando una acumulación y afectando directamente la temperatura global. En concentraciones adecuadas, los GEI permiten que la temperatura de la tierra sea habitable y pueda mantenerse en un promedio de 15,5°C (Figura 1) (IPCC, 2001).

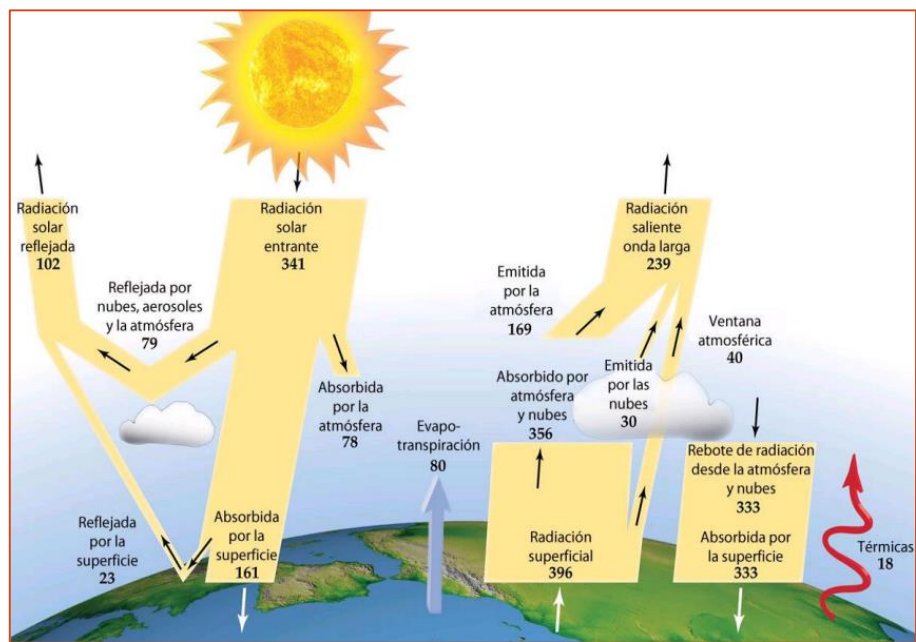


Figura 1. Balance de energía generado por el efecto invernadero natural.

Fuente: IPCC, 2007.

2.3. Ganadería bovina.

Mahecha *et al.*, (2002) manifiestan que la ganadería bovina es una actividad desarrollada en todos los países. Es considerada como un renglón socioeconómico de gran importancia para el desarrollo del campo; ha sido y es cuestionada fuertemente por su desempeño productivo y por su impacto ambiental; es así que (Carmona *et al.*, 2005) Muestran que los bovinos poseen un sistema digestivo que es capacitado para aprovechar y convertir material fibroso con altos

contenidos de carbohidratos estructurales, en alimentos de alta calidad nutritiva, la carne y la leche; sin embargo, por sus características de anaerobiosis, este sistema digestivo origina gas metano, un potente gas con efecto invernadero que contribuye con aproximadamente el 18% del calentamiento global.

Rúa (2011) clasifica a la actividad ganadera en dos grandes vertientes: a) La ganadería convencional con prácticas que incorporan una metodología agrícola agresiva contra el suelo y el ambiente, en la que frecuentemente se convierten campos con amplia diversidad vegetal en terrenos para pastoreo, y b) la ganadería racional que consiste en hacer un uso controlado de los recursos naturales renovables y no renovables, para que no se consuma más allá de los recursos naturales disponibles en cada predio en uso agrícola y/o ganadero antes que la naturaleza misma pueda regenerarlos y reponer lo consumido. Esta disgregación es muy importante a la hora de discriminar el origen de los GEIs, ya que en muchos casos, los primeros no solo tienen orígenes de la misma actividad bovina, sino también otros, como el cambio de uso de suelo, que incrementa la generación potencial de estos gases.

La ganadería bovina en Bolivia y sus principales productos, carne y leche tienen una importancia alta, dentro de la actividad económica nacional, participa con 3% promedio del PIB agropecuario, tiene previsto un crecimiento para el año 2011 de 2% y ocupa alrededor el 30% del área dedicada actividades agropecuarias, el hato bovino en Bolivia fue de 7.786.801 cabezas, de los cuales los llanos orientales y el chaco poseen el 72%, los Valles albergan el 18% y la región del altiplano el 9% (INE, 2017).

En Bolivia, la actividad pecuaria es de carácter extensivo en su mayoría, y es manejada de forma tradicional, con alta dependencia en las condiciones climáticas, debido a que las principales fuentes alimenticias durante gran parte del año provienen de la biomasa de las praderas nativas y las sabanas naturales; otra de las fuentes de alimentación del ganado bovino son los residuos de cultivos y forrajes secos. Por tanto, la población ganadera desarrolla, en la medida que el agricultor cuenta con pasturas nativas, buena productividad de biomasa natural y dispone de residuos agrícolas y forrajes cultivados (Arana *et al.*, 2007).

2.3.1. Población de ganado bovino en Bolivia.

Bolivia cuenta con una extensión territorial de 1.089.531 Km² el 23% de la extensión total corresponde a las explotaciones agrícolas y ganaderas. El oriente con 53.000 Km² para la

producción de cultivos agrícolas y ganadería bovina, pero solamente es utilizado el 13% de la superficie total de nuestro país, el 27% son bosques forestales; el 63% son pastos naturales; el 15% corresponden a las tierras agrícolas y mientras que el 3% está compuesta de ríos, lagos y áreas urbanas. La ganadería nacional en 1996 estaba compuesta de 5.995.894 cabezas de ganado bovino concentrado en los departamentos de Beni y Santa Cruz (70%). Los servicios estatales de apoyo a la actividad agropecuaria están en su mayoría orientados a las explotaciones comerciales de mayor escala, mientras que los pequeños productores se caracterizan por sus limitados recursos de tierra, capital, tecnología y de organización les restringe (CAO, 2011).

Bolivia Cuenta con una gran variedad de paisajes y climas, pues su territorio se extiende sobre la cordillera de los andes y las diferentes alturas influyen en la diversidad de vegetación y en la fauna. A pesar de ser un país tropical, también tiene zonas de temperaturas bajas en las regiones más elevadas

De forma preliminar para el año 2011, la población de ganado bovino en Bolivia alcanza a 8.400.439 cabezas (información estimada con base en los resultados de la Encuestas Nacionales Agropecuarios, 2011). El Cuadro 1 muestra datos de las Encuestas Nacionales Agropecuarios (ENA, 2008) la distribución de bovinos por raza en Bolivia.

Cuadro 1: Razas apropiados por Departamento

| Región | Departamentos | Razas recomendados |
|---------------------------|--|---|
| Trópico húmedo | Santa Cruz, Chuquisaca, Tarija, Cochabamba, Beni, La Paz | Pardo suizo, mestizo Gyr Nellore, Brahman, brangus |
| Trópico sub húmedo | Beni y Santa Cruz | Nellore, Brahman, Guzerat, Criollo yacumeño, Gyr Angus |
| Trópico seco chaco | Santa Cruz, Chuquisaca, Tarija | Criollo chaqueño, criollo yacumeño, Nellore Brahman Guzerat |
| Valles | Cochabamba La Paz Potosí, Tarija | Criollo, Pardo suizo, Holstein |
| Altiplano | Oruro, La Paz, Potosí | Criollo, Pardo suizo, Holstein, Mestizo |

Fuente: MDRyT, 2011

Criollo 67% Nelore 14% Mestizo 7% Holstein 5% Pardo suizo 2% Brahman 1% y otras razas como Cebu, Gyr, Lemusin, Brangus, Jersey, Simmental y Angus 4%.

2.3.2. Gases de efecto invernadero y su contribución al calentamiento global en la actividad ganadera bovina.

Maqueda *et al.*, (2006) expresan que la ganadería bovina es una importante fuente de emisiones de metano, para reducir el número de cabezas de ganado para disminuir estas emisiones estaría en contra del concepto de agricultura sostenible. Pero ¿Qué implicaciones tiene, producir este gas en el sistema digestivo del animal? Garzón (2011) manifiesta que existen dos implicaciones importantes en la dieta de los bovinos: a) una es la pérdida de energía dietaria de los animales que se ve representada en los gases que expulsa de su sistema digestivo; b) la segunda se refiere al cambio que sucede con los tejidos en los pastos; un tejido menos digerible representa una menor ganancia de peso y una menor producción lechera.

La cantidad de GEI provenientes de la ganadería está directamente relacionada con la cantidad de cabezas de ganado; la agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de CH₄, CO₂ y N₂O a la atmósfera. Siendo un 95% de este total, las emisiones provenientes del ganado bovino de leche y de carne. Así mismo, Carmona *et al.* (2005) revelan que los animales domésticos, principalmente el ganado bovino son responsables de aproximadamente el 15% de la generación de metano global. Los mismos autores mencionan que en los países en vía de desarrollo, las emisiones son aproximadamente de 55 kg CH₄/año por animal, en comparación con lo reportado en países desarrollados, de 35 kg CH₄/año por animal.

2.3.2.1. Gases de Efecto Invernadero directos.

Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera; en este grupo se encuentran, Cuadro 2: el metano, óxido nitroso y dióxido de carbono, como fuentes principales de emisión contribuyendo al calentamiento global (IDEAM, 2007).

Cuadro 2. Gases de efecto invernadero directo.

| Gas | Fuentes principales | Tasa de aumento actual y concentración | Contribución al calentamiento global (%) |
|--|--|--|--|
| Dióxido de carbono (CO₂) | Combustible fósil 77% Deforestación 23% | 0,5% (353 ppm) | 55 |
| Metano (CH₄) | Manejo de estiércol Fermentación entérica | 0,9% (1.72 ppm) | 15 |
| Óxido nitroso (N₂O) | Uso de fertilizantes combustible fósil | 0,8% (310 ppm) | 6 |

Fuente: Echeverri, 2006.

2.3.2.2. Gases de Efecto Invernadero Indirectos.

Son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire del medio ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo. En este grupo se encuentran: los óxidos de nitrógeno (estiércol), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono (IDEAM, 2007).

2.4. Producción del gas metano en rumiantes y su impacto ambiental.

Según el IPCC (2001) el CH₄ tiene un potencial de calentamiento de la tierra de 23 veces superior al CO₂. Cada kilo liberado a la atmósfera contribuye al calentamiento global relativo tanto a la emisión de 23 kg de CO₂ calculado para un horizonte temporal de 100 años (Cambra, *et al.*, 2008). El metano liberado por fermentación entérica puede ascender a 86 millones de toneladas al año. El óxido nitroso también es un gas de efecto invernadero producido de forma antropogénicas por el ganado, atribuyéndosele el 65 % de las emisiones (FAO, 2009)

Moss *et al.*, (2000) revelan que los animales domésticos, principalmente el ganado bovino son responsables de aproximadamente el 15% de la generación de metano global, mientras que Gerber *et al.*, (2013) afirman que la ganadería es responsable del 14,5% de las emisiones totales de GEI. Las emisiones provenientes por las actividades ganaderas en algunos países influyen directamente sobre el total de sus emisiones; así en Colombia, González y Rodríguez (1999) indicaron que la influencia de emisiones de metano, a partir de actividades en el sector pecuario para el 2010, representó el 70% de participación de los GEI. Siendo un 95% de este total, las emisiones digestivas del ganado de leche y de carne.

El fuerte crecimiento previsto de esta producción ocasionará con el tiempo un aumento de los porcentajes y volúmenes de emisiones. La producción y elaboración de piensos y la fermentación entérica debida a los animales rumiantes son las dos fuentes principales de emisiones, responsables respectivamente del 45% y el 39% de las emisiones del sector agrícola. El almacenamiento y elaboración del estiércol representa el 10% (Gerber *et al.*, 2013). Cerca de 500 millones de toneladas métricas/año de metano ingresan a la atmósfera debido a actividades antropogénicas y fenómenos naturales. A esta tasa se espera que el metano cause cerca del 15-17% del calentamiento global. Actualmente se tienen definidas las fuentes de metano causantes de este efecto (REBICAMCLI, 2014).

2.4.1. Emisiones de metano de la ganadería bovina en Bolivia.

Aunque las actividades agrícolas son la tercera causa de emisiones de GEI en Bolivia, éste sector emite grandes cantidades de los llamados “gases que no son CO₂”. Estos gases incluyen al N₂O y el CH₄ con un poder de calentamiento 265 y 28 veces, respectivamente, en un escenario proyectado a 100 años (IPCC, 2013). Se ha estimado en términos de CO₂-eq antropogénico nacionales que las actividades agrícolas emiten 18% en relación al total de emisiones nacionales; 17% del total de las emisiones de CH₄ y 0,8% de los flujos totales de N₂O (MMAyA-VMA-PNCC, 2009). Por ésta razón podría ser importante monitorear e incluir las emisiones del sector agrícola en las estrategias de mitigación, ya que remover gases como el N₂O de la atmósfera podría tener un impacto 300 veces mayor que remover la misma masa de CO₂ (Robertson, 2004).

2.4.2. Origen de las emisiones de la población ganadera bovina.

El metano se origina mediante la descomposición anaeróbica del estiércol, mientras que el óxido nitroso se forma como parte del ciclo del nitrógeno, a través de la desnitrificación del nitrógeno orgánico presente en el estiércol y en la orina del hato ganadero bovino (Berra y Finster, 2002). Estas fuentes alimenticias contienen carbohidratos que durante su hidrólisis de transformación a azúcares solubles más simples y absorción al torrente sanguíneo de nutrimentos, producen el gas metano. Este proceso sólo ocurre, en animales poligástricos como se observa en la (Figura 2) (rumiantes: bovinos lecheros, no lecheros, ovinos etc.) y algunos monogástricos (no rumiantes) aunque los primeros son la fuente más importante, debido a la presencia de microorganismos metanogénicos en el rumen. La cantidad del gas metano liberado depende de la especie, edad y peso de los animales, la cantidad y calidad del alimento consumido y la energía expedita por estos (IPCC, 1997).

Así, por tanto, la disponibilidad de alimentos para el ganado doméstico incide en la cantidad y calidad del forraje consumido, factor que afecta significativamente en las emisiones, tanto por fermentación entérica, como el manejo de estiércol. Del mismo modo, los procesos digestivos son directamente proporcionales a las temperaturas del ambiente, vale decir a mayores temperaturas, los procesos digestivos son más acelerados.



Figura 2. Origen de emisión de gas metano por la población ganadera bovina
Fuente: Buddle *et al.*, 2011

La producción de metano en la naturaleza se da principalmente por dos vías:

1. $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
2. $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \Rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$

La producción de metano (CH_4) se da principalmente por la primera vía, debido a que esta requiere menos tiempo para la generación de las poblaciones (4 – 12 h).

2.4.2.1. Emisiones del Gas Metano por Fermentación Entérica.

Las mayores emisiones de metano en el sector agrícola en Bolivia, de la fermentación entérica, provienen de zonas en el que las especies de forrajes contienen poca fibra e incluyen en la dieta mayor cantidad de leguminosas y estos son preferentemente en las zonas del trópico boliviano. El mayor emisor de metano debido a la fermentación entérica, ha sido la ganadería localizada en las zonas bajas de nuestro país (60,67% el 2006 y 59,86% en el 2008, respecto del total de emisiones del subsector ganadero), el cual se ha dado por las características del ganado y de la alimentación que esta ingiere (MMAyA-VMA-PNCC, 2009).

La ganadería también es responsable del 30% de CH_4 antropogénico, del total del sector agrícola, el cual en su mayor parte es proveniente del proceso fermentativo que ocurre en la digestión entérica de los rumiantes (Charmley *et al.*, 2016).

2.4.2.2. Generalidades metabólicas a nivel ruminal.

La producción de metano en el rumen es un proceso ineficiente que resulta en pérdidas de 2-12 % de la energía bruta consumida por el rumiante (Nkrumah *et al.*, 2006; Anderson *et al.*, 2003; Johnson *et al.*, 2000). Los rumiantes emiten el metano a la atmósfera mediante la eructación y la cantidad liberada depende del volumen de alimentos consumidos y de la composición de la ración (Gil, 2004). El proceso de metanogénesis en el rumen posee ciertas particularidades, determinadas por las características fisiológicas de este órgano, que lo distingue de la formación de metano en otros hábitats. Las bacterias metanogénicas ruminales forman parte de un grupo de microorganismos, que llevan a cabo la degradación de los alimentos, al utilizar los productos finales de la hidrólisis de los polímeros para la formación de metano (Sosa *et al.*, 2007).

El rumen y el retículo constituyen los mayores compartimentos del estómago de un rumiante. En esta parte del estómago, los microorganismos fermentan los componentes de los forrajes y proporcionan al animal la energía y nutrientes requeridos. En este proceso un grupo especializado de microorganismos, comúnmente llamados metanógenos, produce metano, las estrategias de modulación del ecosistema del rumen se centran en la manipulación de los metanógenos y/o otros microorganismos del rumen que participan en la producción de metano. Para apoyar este tipo de aproximaciones, se requiere una mayor comprensión de los ecosistemas microbianos en el rumen de los diferentes animales que permanecen bajo una variedad de sistemas de manejo (Figura 3) (Gerber *et al.*, 2013).

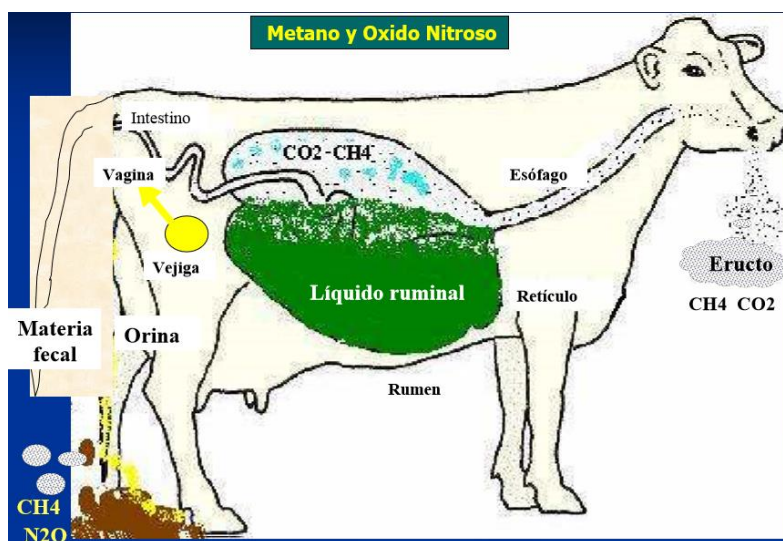


Figura 3. Metabolismo a nivel ruminal.

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

2.4.2.3. Formación de metano.

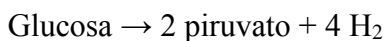
El metano (CH₄) es un producto final de la fermentación anaeróbica que sufren los alimentos fundamentalmente en el rumen, el cual es realizado con diferentes grupos microbiales presentes a lo largo del tracto digestivo del rumiante. En términos de energía constituye una pérdida y en términos ambientales contribuye al calentamiento global (Van Amstel, 2005).

La producción de metano es parte de los procesos digestivos normales de los animales. Durante la digestión, los microorganismos presentes en el aparato digestivo fermentan el alimento consumido por el animal; este proceso microbiano, conocido como fermentación entérica, produce metano como un subproducto, que puede ser exhalado o eructado por el animal (Van Amstel, 2005). La producción de CH₄ en los rumiantes está influenciada por factores relacionados al consumo de alimento, composición de la dieta, digestibilidad del alimento, procesamiento previo del alimento y frecuencia de alimentación.

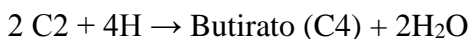
Las emisiones del gas CH₄ por el ganado bovino, se estiman en base a la digestibilidad del alimento ingerido por el animal. Consiguientemente se realiza el inventario ganadero, especificando categorías de animales ya que este proceso viene diferenciado por la edad del animal.

Moss *et al.*, (2000) mencionado por Carmona *et al.*, (2005) señalan que la estequiometría de las principales rutas de fermentación en el rumen del animal se resume así:

Reacciones productoras de H₂:



Reacciones que utilizan de H₂:



La proporción de ácidos grasos volátiles (AGV) es en gran medida influenciada por la dieta y el estado de la población metanogénicas en el rumen. Si las sustancias reducidas son transferidas de bacterias ruminales fermentadoras de carbohidratos a bacterias metanógenas, el acetato aumenta y habitualmente el propionato disminuye. El acetato es prominente, pero no se considera precursor significativo de metano en el rumen. Moss *et al.* (2000) al respecto señalan

que el acetato y el butirato promueven la producción del gas metano, mientras que la formación de propionato puede ser considerada como una forma competitiva en el uso del H₂ en el rumen.

2.4.2.3.1. Emisiones de gases de metano por rumiantes.

A nivel mundial, el ganado es la fuente antropogénica más importante de emisiones de metano (FAO 2009) y pese a que el CH₄ está en menor concentración que el CO₂ en la atmósfera, es responsable de aproximadamente el 20% del efecto invernadero (IPCC 1990; IPCC 1992). Se estima que la ganadería genera 7,1 gigatoneladas de CO₂-eq por año, lo que representa el 14,5% de todas las emisiones antropogénicas, donde el ganado vacuno es el principal generador de emisiones del sector ganadería, con alrededor de 4,6 gigatoneladas de CO₂-eq, que representa el 65% de las emisiones provenientes de las actividades pecuarias (FAO, 2013).

2.4.2.3.2. Metano.

El metano es un gas incoloro, inflamable, no tóxico, cuya fórmula química es CH₄. Es producto de la degradación anaerobia en procesos biológicos como cultivo de arroz, digestión alimenticia de los animales, por la combustión de combustible fósil, pozos de petróleo, minas de carbono al aire libre, y los efectos crecientes de las emisiones antropogénicas durante la era industrial (IPPC, 2001; Rivera, 2015).

El metano (CH₄) es considerado el producto final de la fermentación entérica que sufren los alimentos en el rumen. En términos de energía constituye a una pérdida de energía y en términos ambientales contribuye al calentamiento y al cambio climático global (Bonilla y Lemus, 2012).

El CH₄ es el segundo gas efecto invernadero más importante. Después de ser emitido permanece en la atmósfera aproximadamente de 9 a 15 años. De esta manera las concentraciones atmosféricas de CH₄ se han incrementado aproximadamente un 150 % desde la era preindustrial (Steinfeld *et al.*, 2009).

2.5. Emisión de gases de metano procedente de manejo del estiércol.

La ganadería es una actividad que se desarrolla en muchos países. Esta actividad genera una cantidad de estiércol, superior a la requerida como fertilizante, ocasionando impactos ambientales (Mao *et al.*, 2015) como emisión de GEI, olores ofensivos, entre otros. Este residuo a sido utilizado como materia prima para la generación de biogás mediante DA; sin embargo, este material presenta un alto contenido de nitrógeno que causa un desequilibrio de nutrientes

que se traduce en inhibición por amoníaco. Además el alto contenido de fibra también ocasiona bajos rendimientos de metano, sin embargo este material es considerado un excelente sustrato por el alto contenido de humedad y la variedad de nutrientes que presenta, se requiere para el crecimiento óptimo de población microbiana (Marañón *et al.*, 2012).

El metano producido por la descomposición del estiércol bajo condiciones anaeróbicas, ocurre cuando un gran número de animales es manejado en áreas confinadas (por ejemplo granjas lecheras, ganado de carne, potreros, granjas porcinas y avícolas), donde el estiércol es típicamente almacenado en grandes pilas o dispuesto en lagunas (IPCC, 1997). Por otro lado, durante el almacenamiento del estiércol, parte del nitrógeno es convertido y liberado a la atmósfera como óxido nitroso antes de incorporarse al suelo.

De acuerdo a IDEAM (2007), el sistema de gestión del estiércol, así como la cantidad de estiércol por animal y la categorización de los animales, están muy relacionadas y producen enormes cantidades de emisiones tanto de metano como de óxido nitroso.

Berra y Finster, 2002), indican que cuando el estiércol se dispone en sistemas que promueven las condiciones anaeróbicas (por ejemplo, en forma líquida en lagunas, tanques o fosas), la descomposición de la materia tiende a producir metano. Cuando el estiércol se maneja en forma sólida (por ejemplo, almacenamiento en pilas) o queda depositado sobre las pasturas y los campos naturales, tiende a descomponerse aeróbicamente y produce muy poco o nada de metano; la temperatura y la humedad también influyen en el desarrollo de las bacterias responsables de su formación.

La descomposición del estiércol bajo condiciones anaerobias, durante su almacenamiento y tratamiento, produce CH_4 . Estas condiciones son más visibles con grandes cantidades de animales en una superficie confinada; los principales factores que se inciden en las emisiones de CH_4 son la cantidad de estiércol que se produce y la porción que se descompone anaeróbicamente: La primera depende de la tasa de producción de desechos por animal y de la cantidad de animales; mientras que la segunda depende de cómo se gestiona el estiércol. Cuando el estiércol se almacena o se procesa como líquido, se descompone anaeróbicamente y puede producir una cantidad de CH_4 . La temperatura y el tiempo de retención de la unidad de almacenamiento son dos factores que inciden significativamente en la cantidad de metano producida. Cuando el estiércol se maneja como sólido cuando se lo deposita en pasturas y

prados, tiende a descomponerse bajo condiciones más aeróbicas y se produce menos CH₄ (IPCC 2006).

2.5.1. Gestión de estiércol.

Al enfocarnos en la ganadería como uno de los responsables de la emisión de GEI, debemos conocer los procesos biológicos y los factores que están influyendo en la emisión de estos. Estos aspectos nos ayudaran a visualizar una posible vía de reducción de las emisiones (Cuadro 3) (Clark *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Gestión de estiércol

| Metano (60 a 65%65) | Manejo de estiércol (90 a 95%) | Estiércol (menos del 5%) |
|---|---|-------------------------------------|
| Óxido nitroso (30 a 35%) | Estiércol y orina (80%) | Fertilizantes (variable) |
| Metano (60 – 65%) | Manejo de estiércol (90- 95%) | Estiércol (menos 5%) |

Fuente: Clark *et al.*, 2005.

De acuerdo a Groenestein *et al.* (2012) señalan que el sistema de gestión del estiércol, así como la cantidad del estiércol por animal y la categorización de los animales producen enormes cantidades de emisiones tanto de metano y óxido nitroso, esto se debe a las actividades de los microorganismos en el estiércol. Los mismos autores indican que cuando el estiércol se dispone en sistemas que promueven las condiciones anaeróbicas (por ejemplo, en forma líquida en lagunas, tanques o fosas). La descomposición de la materia tiende a producir metano. Cuando el estiércol se maneja en forma sólida (por ejemplo, almacenamiento en pilas) o queda depositado sobre las pasturas y los campos naturales, tiende a descomponerse aeróbicamente y producen muy poco o nada de metano, la temperatura y la humedad también influyen en el desarrollo de las bacterias responsables de su formación.

2.6. Importancia de emisiones de gases de metano entérico.

2.6.1. La metanogénesis en el ganado bovino.

El metano entérico es producido en el rumen de los bovinos, cuando los carbohidratos solubles e insolubles presentes en la ración son degradados bioquímicamente a pentosas y hexosas, y posteriormente fermentadas en condiciones de anaerobiosis por microorganismos ruminales para la producción de ácidos grasos volátiles (acetato, propionato y butirato), hidrogeno H₂ y

CO₂ (Carmona *et al.*, 2005) (figura 4). Los excesos de H₂ y CO₂ son utilizados como sustrato principal por microorganismos metanogénicos, clasificados por *Archaea*. Estos mismos autores indican que estos microorganismos generan metano como productos del metabolismo, pero el que se genere CH₄ no es del todo negativo ya que este proceso ayuda a equilibrar el ambiente en el rumen reducido, así los cambios bruscos del pH. El volumen mayor de metano (87%) se produce en el rumen y es expulsado al ambiente por medio de eructos: el resto 13% es producido en el colon. Murray *et al.* (1996) señalan que las emisiones del CH₄ por rumiantes no solo presentan un problema ambiental sino también una pérdida de productividad, debido a una ineficiencia en el uso de la energía de la ración por los animales, la cual oscila entre 2 y 12% del consumo de energía bruta. Este proceso puede depender de la calidad nutricional de la ración de buena a pobre, respectivamente (Johnson y Johnson, 2000).

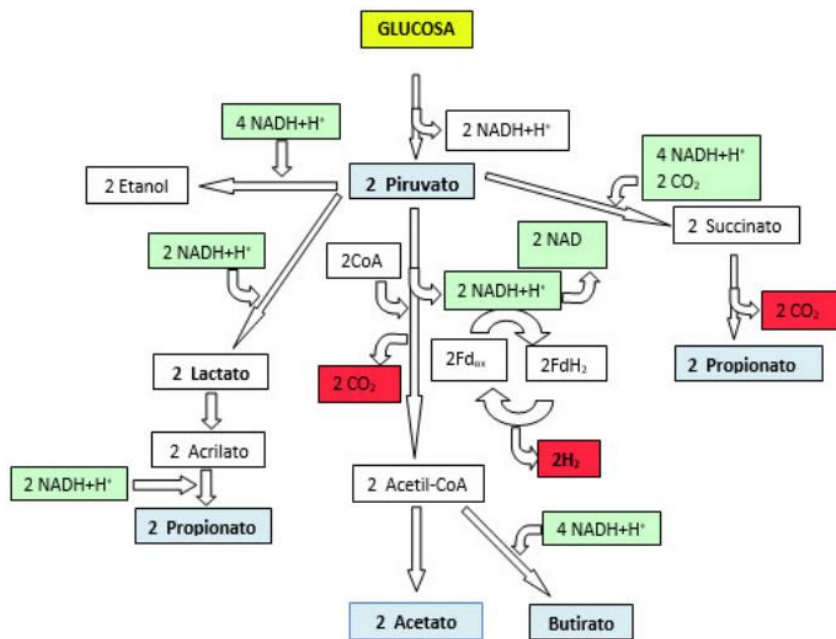


Figura 4. Fermentación ruminal a partir de la glucosa
Fuente Moss *et al.* 2000.

La literatura reporta que el consumo de materia seca es el principal factor que influye sobre la producción de CH₄ entérico (Buddle *et al.*, 2011). Las primeras investigaciones que evaluaron el efecto del consumo sobre la producción de CH₄ encontraron una estrecha relación con la cantidad de alimento y la digestibilidad de la dieta, presentándose una mayor producción de CH₄ en dietas de baja digestibilidad a un nivel de consumo de mantenimiento, por el contrario dietas con alta digestibilidad y un consumo tres veces mayor al de mantenimiento disminuyó la

producción de CH₄ (30%) (Castelán-Ortega *et al.*, 2014). El aumento en el consumo de Materia Seca (MS) se relaciona con una mayor tasa en peso y la disminución en la degradabilidad de la dieta, lo que resulta en una menor producción de metano (Pinares-Patiño *et al.*, 2013).

2.6.2. Ganadería lechera.

La ganadería lechera es una actividad importante para la seguridad alimentaria, resulta fundamental aumentar la producción a través de una alimentación adecuada de la vaca durante todo el año, sin importar el número de vacas que se tenga, un buen productor debe conocer los principales problemas y las necesidades de alimentación de la vaca. La actividad ganadera bovina, es responsable de la emisión de GEI, en forma de metano entérico y óxido nitroso (proceso de digestión) (FAO, 2010).

2.6.3. Especies forrajeras y la producción de metano entérico.

Según Moss *et al.* (2000) se pueden encontrar diferencias en la emisión de metano entérico cuando se evalúan diferentes especies forrajeras como fuente de alimento. Por ejemplo, el uso de pasturas nativas puede producir mayores cantidades de metano por unidad de MS consumida que una pastura mejorada o introducida. Las plantas C3 y C4 se diferencian en que su primer producto de la fotosíntesis es un compuesto de tres (ácido 3 fosfoglicérico) o cuatro (ácido oxalacético) carbonos, respectivamente (Salisbury y Ross, 2000). En general, las gramíneas forrajeras C3 debido a sus diferencias fisiológicas, están compuestas por una mayor proporción de tejidos de alta digestibilidad respecto a las C4 (Wilson, 1993). Existen diferencias en la producción de metano por especies C3 y especies C4, por ejemplo, el ganado alimentado con especies C4 (*Digitaria decumbens* y *Setaria spaelata*) producen 14,3% más metano relacionado con la energía digestible consumida que aquellas alimentadas con especies C3 (*Lolium perenne* y *Trifolium repens*) (Vargas, 2013).

2.7. Factor de emisión.

Los factores de emisión son coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones de un gas por los datos de la unidad de actividad; están basados en muestras de mediciones, promediados en varios niveles de detalle dependiendo de la metodología utilizada, con el objeto de desarrollar una tasa representativa de emisión para un dado nivel de actividad, bajo un conjunto de condiciones operativas dadas, (FAO)

2.7.1. Digestibilidad aparente en la región de las tierras altas.

La digestibilidad aparente es uno de los factores más importantes en los cálculos de emisión de metano provenientes de la fermentación entérica. En los sistemas de la producción pecuaria en la región de las tierras altas de Bolivia (régimen térmico promedio menor a 15°C), la base para la alimentación de las especies de ganado predominantes es la producción de biomasa en las praderas nativas, forrajes cultivados y residuos de cultivos, los mismos que en promedio presentan una digestibilidad aparente para el ganado bovino lechero y no lechero del 64,66%, se muestra en el Cuadro 4 los resultados de diversos estudios realizados en la región sobre digestibilidades aparentes.

La digestibilidad es determinada convencionalmente restando de la cantidad consumida de un determinado nutriente (la cantidad excretada con las heces).

Cuadro 4. Digestibilidad aparente en porcentajes de estudios realizados en altiplano de Bolivia

| Digestibilidad aparente % | Fuente |
|---------------------------|------------------------------|
| 77,00 | Oviedo, 1996 |
| 66,00 | Ticonipa, 1997 |
| 49,70 | Limberg <i>et al.</i> (1992) |
| 69,94 | Maíz, 1992 |
| 64,66 | PROMEDIO |

Fuente: MDS-VRNMA-PNCC (2003)

La producción lechera en el altiplano alcanza un rendimiento medio de 6,5 Kg leche/animal/día (Cortez, 2017). En animales en producción con un peso promedio de 300 Kg el consumo energético alcanza a 137,2 Mj/día para una producción lechera de 1.252,8 Kg/año y en ganado no lechero, con un peso 310 Kg (vacas secas y toros) alcanza 94.8 Mj/día respectivamente. El ganado en crecimiento tiene un consumo actual 77,6 Mj/día para un promedio de peso vivo de 150 Kg (Guzmán y Sager, 2013). Por su parte el ganado bovino de tiro (bueyes) con pesos vivos de 330 Kg consume una cantidad de energía bruta de 142,4 Mj/día. Esta cantidad de energía bruta consumida por categorías de ganado bovino lechero en producción, hace que los animales emitan 53,99 Kg de metano por cabeza por año (Kg/cabeza/año), valor inferior al recomendado para los países en desarrollo por las guías revisadas 1996 del IPCC (IPCC, 1997) que es de 57 Kg/cabeza/año, para una producción de leche 800 Kg/cabeza/año.

El ganado no lechero, presenta un factor de emisión de metano de 94,8 Mj/día. Para el ganado bovino en crecimiento este factor es de 30,53 kg/cabeza/año por el consumo de 77,6 Mj/día y para el ganado de trabajo (bueyes) se calcula un factor de emisión de 56,03 kg/cabeza/año por un consumo de energía de 142 Mj/día.

2.7.2. Digestibilidad aparente en la región de los valles.

La ganadería en la región de los valles (régimenes térmicos entre 14 y 25°C), se caracteriza por una mayor disponibilidad de forrajes en las praderas nativas, con relación a las zonas del altiplano boliviano. En la época de estiaje los animales son alimentados con residuos de cultivo, después de las cosechas en sistemas de manejo tradicional. Bajo este manejo, los niveles de producción en los valles de Cochabamba, parte del departamento de La Paz y Chuquisaca alcanzan 11,93 kg de leche/animal/día, que son mayores a los registrados en la región altiplánica, siendo representativos para la región (Gemio, 2015).

El consumo total de energía del ganado lechero en la región templada es de 152,4 Mj/día, valor superior al correspondiente de las regiones frías, debido a que bajo estas condiciones de temperaturas existe una mayor cantidad de especies forrajeras con alto valor biológico y palatabilidad, que tienen incidencia sobre los pesos vivos del ganado, observando un promedio para este régimen de temperatura de 340 kg en vacas lecheras en producción (Garzón, 2011). En esta región la digestibilidad del alimento consumido puede ser estimada en función a un tipo de ración para la producción de leche (Guzmán y Sager, 2013), en animales semi estabulados dando un valor en promedio de 68,3% de energía digestible sobre la energía bruta consumida, valor que se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Digestibilidad promedio para la alimentación de ganado bovino en Valles

| Ingredientes | Digestibilidad (%) | Fuente |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cebada berza | 72,2 | Ticonipa 1996 |
| Alfalfa verde | 72,2 | Alcerreca y Cardozo, 1997 |
| Semilla de algodón | 80,0 | Oviedo, 1996 |
| Promedio | 68,35 | |

Fuente: MDS-VRNMA-PNCC (2003)

El factor de emisión determinado para el nivel de consumo energético en bovino lechero es de 59,97 Kg CH₄/cabeza/año, valor superior al factor de emisión recomendado en las Guías Revisadas 1996 del IPCC, de 57 kg CH₄/cabeza/año para países en desarrollo.

El ganado no lechero, presenta un consumo de energía bruta para un peso vivo promedio de 350 kg de 96,3 Mj/día, inferior al ganado lechero en producción, debido a que esta categoría consume mayor cantidad de energía por la pérdida durante la lactancia. El factor de emisión es de 44,23 kg CH₄/cabeza/año. El ganado bovino joven con peso promedio de 180 kg presenta un consumo energético de 86,1 MJ/día, y un factor de emisión de 33,88 kg CH₄/cabeza/año. El ganado bovino de trabajo (bueyes) con un peso promedio de 400 kg, y un consumo energético de 152,7 Mj/día que determina un factor de emisión 60,09 kg CH₄/cabeza/año.

2.7.3. Digestibilidad en la región de las tierras bajas.

La actividad ganadera en la región cálida (temperaturas medias superiores a 25°C) se caracteriza por ser de carácter extensivo, esta ganadería concentra la mayor cantidad de población bovina en Bolivia. Los sistemas de producción semi intensivos se han establecido en el departamento de Santa Cruz, sin embargo no se tienen registros de la producción estabulada o semiestabulada. MDS-VRNMA-PNCC (2003) señala que la Cámara Agropecuario del Oriente, reporta un valor promedio de peso vivo de ganado bovino lechero de 350 kg, el mismo que en promedio, consume una energía neta de 194,7 Mj/día, para una producción lechera promedio de 8,5 Kg leche/cabeza/día. Una de las características de la producción lechera en esta región es el uso frecuente de forrajes tropicales con carácter extensivo predominando la siembra de pasturas como base para la alimentación. Por tal motivo, para la determinación del factor de emisión se utilizó una digestibilidad del 65% con el valor de energía neta total consumida, se obtuvo el factor de emisión de 76,64 kg CH₄/cabeza/año.

El ganado no lechero en la región cálida de un peso promedio de 380 kg (Campero y Medina, 2004), consume una cantidad de energía neta 108,2 Mj/día y presenta un factor de emisión de metano de fermentación entérica de 49,70 kg de CH₄/cabeza/año, valor ligeramente superior al recomendado por el IPCC, que es de 49 kg CH₄/cabeza/año.

Por otra parte el ganado bovino joven consume una cantidad de energía 107 Mj/día para un peso vivo en crecimiento de 200 kg, considerando en la fase logarítmica de la curva de crecimiento,

nivel que según MDS-VRNMA-PNCC (2003), se alcanza a los 730 días del nacimiento, lo que determina un factor de emisión de 42,09 kg CH₄/cabeza/año.

El Cuadro 6 muestra el valor de energía consumida para el ganado de trabajo (bueyes), alcanza a 177,88 Mj/día para un peso vivo promedio de 450 kg. Producto de este consumo de energía, se tiene un factor de emisión para la fermentación entérica de 70 kg CH₄/cabeza/año.

Cuadro 6. Digestibilidad alimentaria de diferentes categorías de ganado

| Categorías | Clase | Digestibilidad |
|---------------------------|--|----------------|
| Bovinos y otros rumiantes | ▪ Animales de corral alimentados con mayor % de dieta concentrada, | 10 a 75% |
| | ▪ Animales alimentados con pasturas. | 11 a 55-75% |
| | ▪ Animales alimentados con forraje de baja calidad. | 12 a 45-55% |

Fuente: MDS-VRNMA-PNCC (2003)

2.7.3.1. Consumo diferenciado y emisión de metano entérico.

La mayoría de proyectos de mitigación de GEI provenientes del sector agrícola enfocan que el aumento en el nivel de consumo en dietas ricas en forrajes específicas disminuyen las emisiones de metano por unidad de materia seca hasta en un 14% (Guzmán y Sager, 2013). Sin embargo, la magnitud en la reducción no es tan grande, debido probablemente a la poca variabilidad en composición química y digestibilidad de los forrajes evaluados.

La relación entre consumo de forraje diferenciado y emisión de metano por unidad de consumo total sugiere que todas aquellas prácticas asociadas al aumento del consumo de MS de los forrajes serían potencialmente conducentes a una menor producción de metano por unidad de MS ingerida.

El CH₄ procedente de la fermentación entérica en los herbívoros es una consecuencia del proceso digestivo durante el cual los hidratos de carbono se descomponen por acción de microorganismos, en moléculas simples que se absorben en el torrente sanguíneo. El CH₄ procedente del manejo del estiércol obedece a su descomposición en condiciones anaeróbicas; el estiércol del ganado está compuesto principalmente por materia orgánica que al descomponerse en ausencia de oxígeno y bajo la acción de poblaciones de microorganismos (bacterias metanogénicas) produce CH₄.

2.8. Características de las emisiones en la ganadería.

Mahecha *et al.* (2002) manifiestan que la ganadería bovina es una actividad generalizada y desarrollada prácticamente en todos los países, considerada como un renglón socioeconómico de gran importancia para el desarrollo del campo, ha sido y es cuestionada fuertemente por su desempeño productivo y por su impacto ambiental.

Por otra parte Carmona *et al.* (2005) manifiestan que los bovinos poseen un sistema digestivo que es capacitado para aprovechar y convertir material fibroso con altos contenidos de carbohidratos estructurales, en alimentos de alta calidad nutritiva, la carne y la leche; sin embargo por sus características innatas, este mismo sistema digestivo también origina gas metano, un potente gas con efecto invernadero que contribuye con aproximadamente el 18% del calentamiento global ocasionado por actividades productivas con animales domésticos, superado sólo por el CO₂.

Así mismo, Rúa (2011) clasifica a la actividad ganadera en dos grandes vertientes: La ganadería convencional son prácticas habituales que incorporan una metodología agrícola agresiva contra el suelo y el ambiente, en la que frecuentemente se convierten campos con amplia diversidad vegetal en terrenos para pastoreo. La ganadería racional consiste en hacer uso controlado de los recursos naturales renovables y no renovables, para que no se consuma más allá de los recursos naturales disponibles en cada predio en uso agrícola y/o ganadero antes que la naturaleza misma pueda regenerarlos y reponer lo consumido.

2.9. Emisión de gases de metano en sistemas de producción.

2.9.1. Emisión de metano en sistemas extensivos.

A nivel mundial, el ganado bovino es la fuente antropogénica más importante de emisiones de metano (FAO 2009) y pese a que este gas está en menor concentración que el CO₂ en la atmósfera, es responsable de aproximadamente el 20% del efecto invernadero (IPCC 1990; IPCC 1992). Se estima que la ganadería genera mayor cantidad de metano entérico en sistemas de explotación extensiva, lo que representa el 14,5% de todas las emisiones antropogénicas, donde el ganado vacuno es el principal generador de emisiones del sector ganadería, en trópicos que representa el 65% de las emisiones provenientes de las actividades pecuarias (FAO 2013).

Los rumiantes producen metano en su sistema digestivo, ocasionado por una pérdida de energía en el proceso metabólico por una ineficiencia de lo que el animal consume a lo que transforma (Primavesi *et al.*, 2004); por lo que el animal se alimenta, éste está perdiendo aproximadamente de 7,1% a 9,5% de energía (Medina, 2016)

2.9.2. Emisión de metano en sistemas intensivos.

El desarrollo de la ganadería intensiva y semi intensiva durante los últimos años en el departamento de Santa Cruz ha sido posible como consecuencia de la existencia de importantes extensiones de tierra que anteriormente fueron dedicadas a la producción agrícola, fundamentalmente soya y otros cultivos articulados al complejo oleaginoso y que por su agotamiento como medio de producción para la agricultura se destinan ahora a una ganadería vacuna con base en pastos cultivados, con el fin de ofrecer alimento concentrado para mejorar la calidad sobre el manejo y sanidad animal, con el propósito de reducir las emisiones que provocan a la contaminación ambiental (FEGASACRUZ, 2015). Este tipo de sistema realiza sobre pastos cultivados con pastoreo racional o rotación intensiva, uso de pastos de corte y suplementos, el uso de tecnología y capital, es intensivo acompañado de recursos humanos calificados. Donde la emisión de gases son bajas en este tipo de crianza, también ayuda la Infraestructuras productiva el manejo del hato, sanidad, recursos forrajeros y genética son también adecuados, son varios factores que aminoran la emisión de gases (Machon, 2008).

2.10. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) tiene como objetivo general lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático y establece que todas las partes, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo, de sus objetivos y de sus circunstancias, deberán: elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la Conferencia de las Partes (Naciones Unidas, 1992); para esto el IPCC ha desarrollado directrices

para la elaboración de inventarios nacionales de GEI, que deben ser empleadas por todos los países para reportar sus inventarios a la Convención.

2.10.1. Inventario de emisiones de GEI en la CMNUCC.

Los inventarios nacionales de GEI se emplean para: Evaluar el progreso del logro de los objetivos de la Convención, opciones de mitigación, la efectividad de políticas y el desarrollo de metodologías; monitorear la implementación de la Convención y el Protocolo de Kioto; realizar proyecciones a largo plazo; proporcionar información de base para los mecanismos de transacción de emisiones y el trabajo sobre futuros compromisos (Guzmán y Sager, 2013).

Un inventario de emisiones de GEI es un procedimiento metodológico para cuantificar la cantidad de GEI que es liberada a la atmósfera debido a diferentes actividades, en un periodo de tiempo y territorio determinado (IPCC, 1997). Dicha cuantificación puede llevarse a cabo mediante medición directa con equipos especializados en una campaña de monitoreo (o monitoreo continuo), o a través de metodologías de cálculo basadas en información del tamaño de la actividad de las fuentes de generación de emisiones y el factor de emisión de dichos gases por unidad de actividad y mediante la fórmula general para estimar emisiones por este método:

$$E = A * EF$$

En donde:

E = Emisión,

A = Dato de actividad

EF = Factor de emisión

Un factor de emisión es un valor representativo basado en un balance de materia, que busca relacionar la cantidad de un gas (contaminante o GEI) emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión de dicho gas. Estos factores son usualmente expresados como el peso del gas dividido por unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad emisora. Estos factores facilitan la estimación de emisiones de varias fuentes de contaminantes y GEI. En la mayoría de los casos los factores son simplemente promedios de todos los datos disponibles de aceptable calidad (EPA, 2011).

2.10.2. Módulo Agropecuario.

En este módulo se contabilizan las emisiones de gases de metano provenientes de la fermentación entérica y manejo de estiércol, del ganado bovino emitido a la atmósfera, a causa

de una ineficiencia en la alimentación del animal, generalmente provienen de las regiones de elevada temperatura y humedad atmosférica, teniendo en cuenta a las categorías vistas en la figura 5.

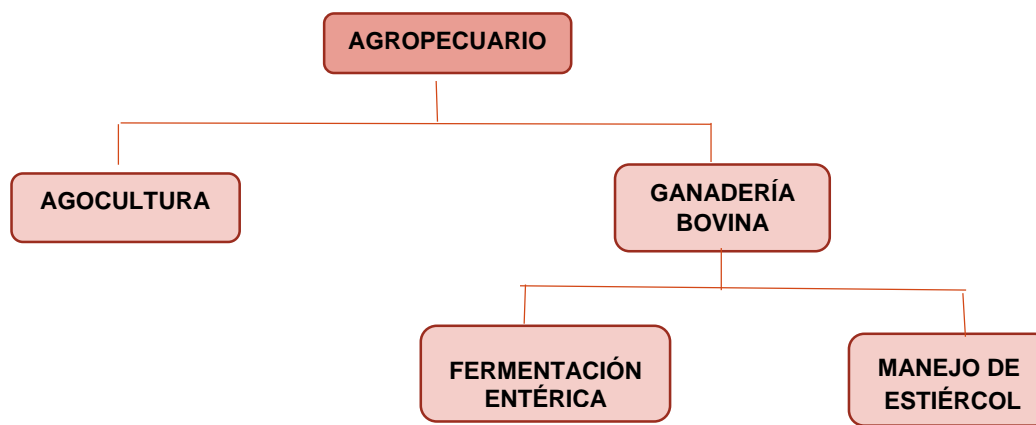


Figura 5. Categorías Módulo Agropecuario
Fuente: Elaboración propia

El CH_4 procedente de la fermentación entérica en los rumiantes es una consecuencia del proceso digestivo durante el cual los hidratos de carbono se descomponen por acción de microorganismos, en moléculas simples que se absorben en el torrente sanguíneo. El CH_4 procedente del manejo del estiércol obedece a su descomposición en condiciones anaeróbicas; el estiércol del ganado está compuesto principalmente por materia orgánica que al descomponerse en ausencia de oxígeno y bajo la acción de poblaciones de microorganismos (bacterias metanogénicas) produce CH_4 . De la misma forma, durante el almacenamiento y tratamiento del estiércol antes de su disposición en campo, se producen emisiones de N_2O , el cual es producido cuando el nitrógeno contenido en el estiércol es nitrificado o desnitrificado. En la categoría de suelos agrícolas se calculan las cantidades de N_2O , teniendo presente el ciclo del Nitrógeno (con los procesos de nitrificación y desnitrificación), en tal sentido se tienen en cuenta las emisiones directas de N_2O procedentes de los suelos agrícolas y de los suelos dedicados a la producción animal y las emisiones indirectas de generadas por el Nitrógeno utilizado en la agricultura.

La estimación de las emisiones de metano fue presentado por diferentes autores, y propuesto por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 1997). Este ejercicio está de acuerdo a coeficientes de emisiones previamente establecidos, según características de una población en particular y de la dieta. Por otro lado, algunos autores han sugerido que estas

metodologías son válidas para hacer las primeras aproximaciones, pero en muchos casos podría sobre o sub estimar las emisiones de metano reales. Aunado a esto, existe un limitado acervo investigativo entorno a la cuantificación y desarrollo de estrategias que mitiguen la emisión de metano entérico en los actuales sistemas de producción de bovinos.

2.11. Análisis de Incertidumbre.

Según el IPCC (2006), las estimaciones de incertidumbre son elementos esenciales de un inventario de emisiones completos, siendo que esta información no tiene como propósito juzgar sobre la validez de las estimaciones, sino más bien ayudar a priorizar los esfuerzos para mejorar la exactitud de las estimaciones de los inventarios futuros y guiar en las decisiones sobre la elección de las metodologías. Generalmente, aunque las estimaciones de los inventarios nacionales de emisiones sean discretamente exactas, contienen un gran rango de estimaciones de emisiones, que varían desde datos completos cuidadosamente medidos y datos demostrables de emisiones de ciertos procesos químicos, hasta estimaciones de órdenes de magnitud de flujos altamente variables de óxido nitroso provenientes de suelos agrícolas.

Por otra parte, las estimaciones de emisiones pueden ser usadas para un gran número de propósitos y por esta razón es importante que los usuarios de la información puedan entender claramente el grado de confiabilidad tanto de las estimaciones totales como de sus partes, componentes. Por esta razón los métodos usados para calcular las incertidumbres deben ser prácticos, científicamente justificables, para ser aplicables a un rango de categorías de fuentes de emisiones, métodos y circunstancias nacionales, además de ser presentados de manera comprensible para los usuarios no especialistas en inventarios.

Las incertidumbres en los inventarios de emisiones provienen de dos fuentes que son: los datos de actividad y los factores de emisión, los cuales también inciden en las tendencias y comportamientos. Algunas fuentes de incertidumbres generan estimaciones bien definidas y fáciles de caracterizar del rango del error potencial, sin embargo, otras fuentes de incertidumbre pueden ser mucho más difíciles de caracterizar. Por esta razón, se ha utilizado una metodología que permite contabilizar las incertidumbres estadísticamente bien definidas y la formación menos específica que caracteriza otras formas de incertidumbre y permite combinar esta información en una caracterización de la incertidumbre del inventario en su totalidad y de sus componentes (MDS-VRNMA-PNCC, 2003).

3. LOCALIZACIÓN.

3.1. Ubicación geográfica.

El inventario se realizó para Bolivia con los datos obtenidos por cada departamento, Bolivia se encuentra en el hemisferio sur del planeta y al oeste del Meridiano de Greenwich, está situada en la América del sur, entre 57°26' y 69°38' de Longitud Oeste, 9°38' y 22°53' de latitud Sur y cuenta con una superficie de 1.098.000 km².

3.2. Características geográficas y climáticas.

Por sus características fisiográficas, Bolivia tiene una variedad de climas los cuales son determinados por la influencia húmeda tropical de la Corriente Ecuatorial Amazónica y las masas de aire frío de la Corriente Austral, por el gradiente latitudinal y por el gradiente altitudinal de Occidente a Oriente (figura 6).

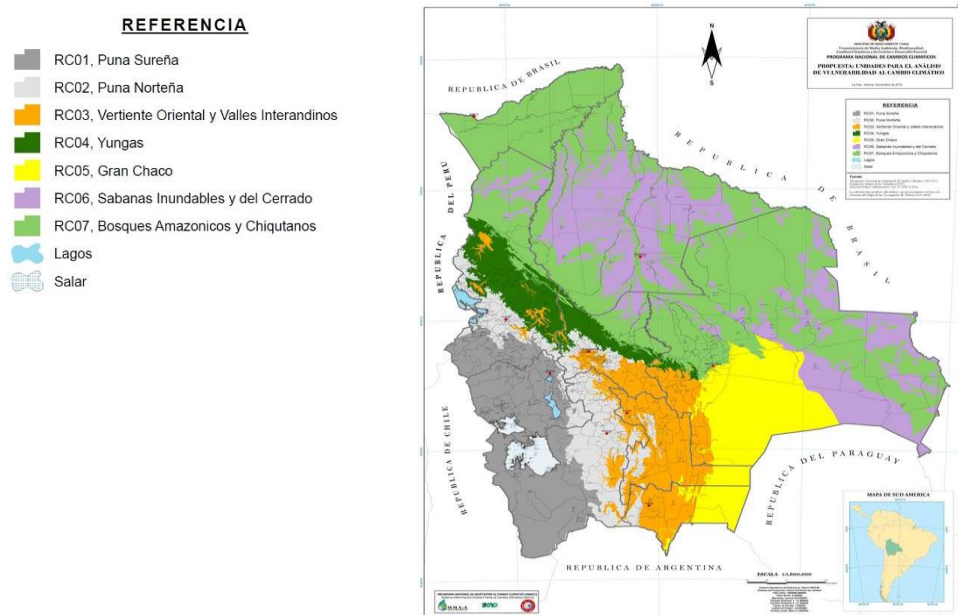


Figura 6. Mapa simplificado de ecoregiones de Bolivia.

Fuente: En base a MPD-VPTA-PNCC (2007).

Por su fisiografía se divide al país en tres grandes zonas: la zona andina boliviana comprende gran parte de la cuenca cerrada de Sudamérica entre las cordilleras Oriental y Occidental de la cordillera de los Andes; la precipitación promedio fluctúa de 400 a 600 mm anuales con un gradiente en las precipitaciones del norte al sudeste. Las temperaturas medias anuales oscilan de 7° a 10°C con un gradiente en la temperatura hacia el sur. Por el gradiente de precipitaciones

y temperatura se distinguen en el altiplano climas frío húmedo al norte y frío árido al sur. Así mismo por el gradiente de humedad de norte a sur, la región está constituida por grandes lagos de agua dulce al norte y salares al sur, (SENAMHI, 2012).

La zona subandina comprende las regiones geográficas de Yungas, la faja subandina boliviana, y los valles secos interandinos; la primera constituida por los yungas húmedos entre los 700 a 2.000 m.s.n.m., los bosques de neblina de ceja de yungas entre los 2.000 y 3.600 m.s.n.m. y la formación tucumano-boliviana al sur del país como continuidad subandina de los bosques de ceja de Yungas. El rango de precipitación media anual es de 1.200 a 1.700 mm y el rango de temperaturas medias anuales de 10 a 20 °C.

La faja subandina es la parte baja de la cordillera Oriental constituida por las últimas estribaciones de la cordillera andina entre 300 y 2.000 m.s.n.m. La precipitación es más fuerte en las vertientes orientales de la cordillera real de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz donde excede los 3.000 mm llegando a 5.000 mm en zonas expuestas al choque de masas de aire muy húmedo del Noreste, mientras que al sur la zona que corresponde al piso inferior del bosque tucumano-boliviano las precipitaciones son menores (700 a 1.500 mm). La temperatura media anual tiene un rango, dependiendo de la altitud y latitud de 19 a 26 °C.

Los valles secos interandinos ocupan regiones intermedias de la cordillera andina, su distribución es discontinua al norte y hacia el sur se hacen más grandes y conexos. El rango de precipitación media anual es de 400 a 600 mm con 5 meses secos y rangos de temperaturas medias anuales de 15 a 18 °C (SENAMHI, 2012).

La zona de los llanos comprende las grandes áreas planas y poco onduladas del oriente del país constituidas en su mayor parte por bosques y sabanas naturales, con rangos de precipitación media anual entre 400 a 2.000 mm y un gradiente de precipitaciones hacia el sur, y temperaturas medias anuales de 24 a 26 °C. El carácter estacional es marcado con una época seca entre mayo y septiembre cuando la temperatura baja drásticamente por la afluencia de frentes fríos del sur. Por las características geológicas e hidrológicas así como por el gradiente climático latitudinal, la amplia región de los llanos contiene diferentes tipos de bosques, desde bosques húmedos tropicales y bosques subtropicales siempre verdes a bosques deciduos secos en la llanura chaqueña, grandes áreas de sabanas naturales y pampas de inundación estacional, así como sabanas inundadas y sistemas anegados de humedales y pantanales.

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Materiales

Para el presente inventario se procedió a realizar la recopilación de información y datos existentes del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras MDRyT, información del Observatorio Agroambiental y Productivo OAP, e Instituto Nacional de Estadística INE, estimando el número de cabezas de ganados por año (2008 a 2017), de aquí se tomó parámetros como regiones y categorías, de acuerdo a las guías de inventarios del IPCC (2001), lo cual permitió estimar las emisiones de metano debidas a la actividad ganadera bovina en Bolivia.

4.1.1. Material de gabinete.

Para la presente investigación se utilizó: cuaderno de registros, laptop, obtención de datos (población ganadera bovina del país) para realizar la clasificación a fuentes claves, guías de Inventarios nacionales de GEI propuesta por el IPCC (Intergubernamental Panel on Climate Change) y el OECD (y la Organization for Economical Centre Development) (IPCC, 1997), los que cuentan con parámetros como dato de actividad (número total de cabezas de ganados 2008 a 2017), factores de emisión (basados en MDS-VRNMA-PNCC, 2003) y su respectivo desarrollo de conversiones, que incluyó la estimación de emisiones de gases de metano.

4.2. Metodología de estimación.

Para estimar las emisiones de gases de metano provenientes por la fermentación entérica y manejo de estiércol, se ha aplicado la metodología descrita por el IPCC para el nivel 2, debido a la carencia de información específica en la ganadería nacional. Los datos fueron obtenidos asumiendo una constante recabada de las guías del IPCC, 1997.

A partir de la ecuación 1 entramos al nivel 2, una vez categorizado se diferencian las emisiones, clasificados por edades en: categorías de ganado bovino (lechero, no lechero, joven y buey), El tipo de ingesta promueve el forraje consumido por el ganado y esta integración determina la digestibilidad, para ello se utilizó la siguiente ecuación.

- **Emisión de gases de metano:**

$$\text{Emisión de CH}_4 = \frac{\text{Factor de emisión} \times \text{Población}}{\text{Kg/Gg}} (10^6)$$

Donde:

Emisión de CH₄ = Emisiones de CH₄, en Gg/año.

Factor de emisión = Factor de emisión correspondiente a la población de ganado definida, en kg/cabeza/año

Población = Número de cabezas de ganado.

Para establecer dicha estimación de emisiones de gases de metano se utilizó las siguientes fases:

- a) Se realizó la recopilación de datos existentes, sobre la población ganadera bovina, obtenido del MDRyT, información del Observatorio Agroambiental Productivo (OAP), en donde:
- b) Se clasificó por regiones: Tierras altas, valles y tierras bajas; además se categorizó en ganado bovino (Joven, lechero, no lechero y bueyes), para obtener resultados sobre las emisión de gases de metano por la fermentación entérica y manejo del estiércol del ganado.

4.2.1. Población ganadera bovina categorizada, años 2008 al 2017.

De acuerdo a la metodología del (IPCC, 2000) y para asegurar que las definiciones y datos se apliquen de manera uniforme a todas las categorías de fuentes, se realizó una “estratificación” única por categoría. La caracterización coordinada de la población de ganado garantiza la coherencia entre las categorías de fuentes, considerando las condiciones predominantes del manejo de ganado en las mismas, según la zonificaciones agroecológicas y socioeconómicas de los diferentes departamentos del país. Para esto se ha:

- a) Identificado al ganados en cuatro categorías de fuentes de emisión,
- b) Revisado el método de estimación de las emisiones aplicable a cada una de las categorías de fuentes pertinentes
- c) Determinado la caracterización más detallada que sea necesaria para cada categoría de ganado. La caracterización “minuciosa” del ganado proporcionó información detallada sobre:
 - i) Definiciones de categorías de ganado;
 - ii) Población de ganado desglosada por categorías;
 - Ganado lechero: Animales hembras en producción
 - Ganado Joven: Animales en proceso de desarrollo (terneros)

- Ganado no lechero: Animales machos, toros y vacas secas
- Ganado buey: Toros castrados, descartados o de trabajo

iii) Estimación de la ingestión de alimentos del animal representativo de cada categoría.

4.2.2. Factores de Emisión Nacionales.

Los factores de emisiones de la ganadería bovina a nivel nacional, fueron estimados en base a las fórmulas obtenidas en las guías del Revisadas del (IPCC, 1997), para las tres regiones y cuatro categorías. Se establecieron por edades del ganado, condicionalmente la alimentación (forrajes) consumido por el bovino determina la digestibilidad, calculando para cada región en función a las ecuaciones definidas del IPCC.

- **Factor de emisión por fermentación entérica (FE):**

$$FE = \frac{EG * \left(\frac{Y_m}{100}\right) * 365}{55,65}$$

Ecuación 2

Donde:

FE = factor de emisión, Gg/CH₄/cabeza-1 año-1

EG = Ingesta de energía bruta, MJ head-1 day-1, Kcal.

Y_m = Factor de conversión de metano, porcentaje de la energía bruta en la alimentación convertida en metano

El factor 55,65 (MJ / kg CH₄) es el contenido de energía del metano.

- **La energía bruta (EB):**

Es la energía que se obtiene al quemar el alimento, se calcula a partir de la composición química del forraje.

$$EG = \frac{\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_{trabajo} + NE_p}{REM} + \frac{NE_g + NE_{lana}}{REG}}{\frac{DE}{100}}$$

Ecuación 3

Dónde:

EB = Energía bruta, MJ día-1, Kcal

NE_m = Energía neta requerida por el animal para el mantenimiento (Ecuación 4), MJ día-1

NE_a = Energía neta para la actividad animal (ecuaciones 5), MJ día-1

NE_l = Energía neta para la lactancia (ecuaciones 8 y 9), MJ día-1

$NE_{trabajo}$ = Energía neta para el trabajo (Ecuación 10), MJ día-1

NE_p = Energía neta requerida para la preñez (Ecuación 12), MJ día-1

REM = Relación de energía neta disponible en una dieta para el mantenimiento de la energía digestible consumida (Ecuación 13)

NE_g = Energía neta necesaria para el crecimiento (ecuaciones 6 y 7), MJ día-1

NE_{lana} = Energía neta requerida para producir un año de lana (Ecuación 12), MJ día-1

REG = Relación entre la energía neta disponible para el crecimiento en una dieta y la energía digestible consumida (Ecuación 14)

DE = Energía digestible expresada como un porcentaje de energía bruta

▪ **Energía neta para el mantenimiento NE_m :**

Es la energía utilizada para el funcionamiento del organismo y emite el cuerpo en forma de calor; la energía depositada en forma de tejido (crecimiento y preñez) como producto (leche) es la energía retenida.

$$NE_m = C_{f_m} \cdot (\text{peso})^{0.75}$$

Ecuación 4

Dónde:

NE_m = Energía neta requerida por el animal para el mantenimiento, MJ día-1

C_{f_i} = Un coeficiente que varía para cada categoría de animal (Coeficientes para calculando NE_m), MJ día-1 kg-1

Peso = Peso vivo del animal en kg

▪ **Energía neta para actividad NE_a :**

Es el sistema para medir la energía de un componente de la dieta, que ayuda para el mantenimiento y la producción.

$$NE_a = C_a \cdot NE_m$$

Ecuación 5

Dónde:

NE_a = Energía neta para la actividad animal, MJ día-1

C_a = Coeficiente correspondiente a la situación de alimentación del animal (Tabla 5), MJ día-1 kg-1 peso = peso vivo del animal, kg.

▪ **Energía neta para actividades:**

$$NE_a = C_a \cdot (\text{peso})$$

Ecuación 6

Dónde:

NE_a = Energía neta para la actividad animal, MJ día-1

C_a = Coeficiente correspondiente a la situación de alimentación del animal (Tabla 5), MJ día-1 kg-1 peso = peso vivo del animal, kg.

▪ **Energía neta para crecimiento (NE_g):**

Energías que son base fundamental para el desarrollo del organismo animal.

$$NE_g = 22,02 \cdot (BW / C \cdot MW)^{0,75} \cdot WG^{1,097}$$

Ecuación 7

Dónde:

NE_g = Energía neta necesaria para el crecimiento, MJ día-1

BW = Peso corporal vivo (BW) promedio de los animales en la población, kg

C = Un coeficiente con un valor de 0.8 para hembras, 1 para castrados y 1 para toros (NRC)

MW = El peso corporal vivo de un animal adulto en condición corporal moderada, kg

WG = El aumento de peso diario promedio de los animales en la población, kg día-1

▪ **Energía neta para la lactancia (NE_l):**

Es la energía requerida para producir leche, es de gran importancia una alimentación saludable para las vacas gestantes y de cría.

$$NE_l = \text{Leche} \cdot (1.47 + 0.40 \cdot \text{Grasa})$$

Ecuación 8

Dónde:

NE_l = Energía neta para la lactancia, MJ día-1

Leche = Cantidad de leche producida, kg de leche día-1

Grasa = Contenido en grasa de la leche % en peso.

▪ **Energía neta para lactancia crecimiento:**

$$NE_l = \frac{[5 \cdot WG_{destete}]}{[365 \cdot EV_{leche}]}$$

Ecuación 9

Dónde:

NE_l = Energía neta para la lactancia, MJ día-1

$WG_{destete}$ = El aumento de peso del cordero entre el nacimiento y el destete, kg

Leche = La energía requerida para producir 1 kg de leche, MJ kg-1. Un valor por defecto de 4,6 MJ kg-1 (AFRC, 1993) puede ser utilizado.

▪ **Energía neta para trabajo (NE_t):**

$$NE_{trabajo} = 0.10 \cdot NE_m \cdot Horas$$

Ecuación 10

Dónde:

$NE_{trabajo}$ = Energía neta para el trabajo, MJ día-1

NE_m = Energía neta requerida por el animal para el mantenimiento (Ecuación 3), MJ día-1

Horas = Número de horas de trabajo por día.

▪ **Energía neta para la preñez (NE_p):**

Es la hormona progesterona que contribuye reduciendo los niveles de energía durante el primer trimestre.

$$NE_p = C_{preñez} \cdot NE_m$$

Ecuación 11

Dónde:

NE_p = Energía neta requerida para la preñez, MJ día-1

$C_{preñez}$ = Coeficiente de preñez

NE_m = Energía neta requerida por el animal para el mantenimiento (Ecuación 4), MJ día-1

▪ **Energía neta para la preñez:**

$$C_{Preñez} = [(0.126 \cdot \text{Doble fracción de nacimiento}) + (0.077 \cdot \text{simple fracción de nacimiento})]$$

Ecuación 12

Dónde:

Doble fracción de nacimiento = [(animales nacidas / animales preñadas) - 1]

Fracción de nacimiento simple = [1 - Doble fracción de nacimiento]

▪ **Relación de energía neta disponible en una dieta para el mantenimiento de la energía digestible consumida:**

$$REM = [1,123 - (4,092 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [1,126 \cdot 10^{-5} \cdot (DE\%)^2] - (25,4 / DE\%)]$$

Ecuación 13

Dónde:

REM = Relación de energía neta disponible en una dieta para el mantenimiento de la energía digestible consumida

DE% = Energía digestible expresada como un porcentaje de energía bruta

▪ **Relación de energía neta disponible para el crecimiento en una dieta a la energía digestible consumida:**

$$REG = [1,164 - (5,160 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [1,38 \cdot 10^{-5} \cdot (DE\%)^2] - (37,4 / DE\%)]$$

Ecuación 14

Donde:

Dónde:REG = Relación entre la energía neta disponible para el crecimiento en una dieta y la energía digestible consumida

DE% = Energía digestible expresada como un porcentaje de energía bruta

▪ **Factor de emisión de gases de metano por manejo de estiércol:**

La cuantificación de las emisiones provenientes del manejo de estiércol animal, se estimó en base a la categorización de la población ganadera para estimar las emisiones de metano, se utilizó el grado 2.

$$FE_{me} = SVE \cdot 365 \cdot B_o \cdot 0,067 \cdot \sum_{(ij)} MCF \cdot MS_{ijk}$$

Ecuación 15

Donde:

FE_{me} = Factor de emisión anual para población ganadera i definida en (Kg.)

SVE = Excreción diaria de solidos volátiles de animales caracterizadas i en (Kg)

MCF_{jk} = Factores de conversión de metano para cada sistema de manejo de estiércol animal

MS_{ijk} = Fracción de animales por categoría i que usan sistemas de manejo j en una región climática k.

Como se describe en las Directrices del (IPCC, 2000), los cuatro pasos principales para estimar las emisiones de CH₄ procedentes del manejo de estiércol del ganado son:

- i) Reunir datos de la población según lo indicado en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado;
- ii) Usar los factores de emisión nacionales calculados por IPCC, sobre la base de las ecuaciones, para cada categoría de ganado y de manejo del estiércol que corresponda;
- iii) Multiplicar cada factor de emisión por la población de ganado categorizada, para obtener la estimación de las emisiones de CH₄ procedentes de esa población en particular;
- iv) Sumar las emisiones de toda la población de ganado definida, para determinar las emisiones nacionales.

4.2.2.1. Nivel de cálculo.

En las Directrices del (IPCC, 2000) se prevén tres niveles de estimación de las emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica y del manejo de estiércol del ganado. La presente investigación, ha tomado el nivel 2, por la existencia de los factores de emisión nacionales y la exhaustividad en las categorías del ganado, el cual representa las circunstancias nacionales en este sector. Por lo que fue necesario coleccionar información detallada sobre las características de

los animales y la forma de manejo del estiércol, para su respectiva categorización. Esta información ha sido desarrollada por personeros del Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC) quienes determinaron los factores de emisión que responden específicamente a las condiciones del país (MMAyA-VMA-PNCC, 2009).

4.3. Análisis de la incertidumbre por datos de actividad.

La incertidumbre es una ocurrencia de exactitud y precisión en las mediciones, es el parámetro asociado con el resultado de una medición, para ver el grado del error y alegar los resultados, el valor encontrado demuestra el error de la medición. Las estimaciones de incertidumbres son componentes fundamentales para un inventario, con el objetivo de obtener datos más exactos.

El inventario de emisión de GEI es principalmente la suma de productos de factores de emisión y datos de actividad; en la práctica la incertidumbre de las categorías de fuentes de los inventarios varían de pequeños porcentajes hasta ordenes de magnitud y pueden estar correlacionadas lo que no es consistente con las suposiciones de las reglas de combinación de incertidumbres no correlacionadas, bajo la adición y multiplicación (regla A y B), de las ecuaciones de propagación del error que se presentan en las Guías 1996 Revisadas del IPCC, referidas a que las variables no están correlacionadas con una desviación estándar menor al 30% de la media, pero aun en estas circunstancias, las reglas A y B pueden ser utilizadas para obtener resultados aproximados.

En este sentido la metodología para el análisis de incertidumbres que se ha seguido, es la recomendada por la guía de buenas prácticas del (IPCC, 2000) y considera lo anteriormente citado, comprendiendo dos grados de profundidad, que han sido utilizados dependiendo de los sectores del inventario y la disponibilidad de datos

Para analizar la incertidumbre se utilizó los datos de actividad recopilados de los años 2008 al 2017, con el cual se estimó la emisión del gas metano en la fermentación entérica del ganado bovino, mediante las relaciones propuestas en las guías del (IPCC, 2000), que define la incertidumbre para el inventarios de emisiones como un término general que se refiere a la falta de certeza.

Las incertidumbres para los datos de actividad surgen producto de una valoración de la información de entrada y los grados de dispersión en los mismos, utilizando el error estándar de

la media de las diferentes fuentes de información, mientras que los datos de incertidumbre asociado a los factores de emisión fueron obtenidas de la recomendada del IPCC.

Utilizando la Regla B para el cálculo de las incertidumbres, considerando que las cantidades inciertas se van a combinar por adición, la desviación estándar de la suma será la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándares de las cantidades que se suman, con todas las desviaciones estándar expresadas en términos absolutos, excepto que todas las desviaciones estándares deben expresarse como fracciones de los valores medios apropiados. La relación será:

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots U_n^2}$$

Donde:

U_{total} = Es la incertidumbre porcentual en el producto de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza de 95% dividida por el total y expresada como porcentaje);

U_i = Son las incertidumbres porcentuales asociadas con cada una de las cantidades.

Para estimar la incertidumbre total para un año y la incertidumbre de la tendencia, inicialmente se utiliza para combinar los rangos de factores de emisión, datos por categorías de fuentes y gases de metano.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En este capítulo se muestran las estimaciones de emisiones de gases de metano debidas a la fermentación entérica y manejo de estiércol del ganado bovino, producidas en tres regiones de Bolivia: Tierras altas, Valles y Tierras bajas, considerando cuatro categorías: ganado joven, ganado lechero, ganado no lechero y bueyes, en el periodo 2008 – 2017.

5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN GANADERA BOVINA EN BOLIVIA.

Los resultados del análisis de la información disponible muestran la existencia de ganado bovino en las tres regiones, diferenciadas por características fisiográficas y climatológicas. A continuación se describen cada una de ellas.

5.1.1. Región de las Tierras Altas.

En esta región se puede apreciar el total de cabezas de ganado bovino de 2008 y 2017, según muestra el Cuadro 7, donde las categorías de ganado joven y lechero presentan mayor población, seguido del ganado no lechero.

Cuadro 7. Población ganadera bovina en la región de las tierras altas de Bolivia

| Categoría | 2008 | 2017 | Porcentaje |
|-------------------|---------|---------|------------|
| Ganado Joven | 295.040 | 309.354 | 37,8 |
| Ganado Lechero | 241.397 | 253.108 | 30,9 |
| Ganado no lechero | 184.824 | 193.790 | 23,7 |
| buey | 59.041 | 61.905 | 7,6 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información del OAP, 2017).

El crecimiento de la población de ganado bovino del 2008 al 2017 fue gradual, el mayor número de cabezas de esta región el 2017 fue el ganado joven con 37,8% de población, el ganado lechero, 30,9% el ganado no lechero de 23,7% y 7,6% el buey, respecto del total de población ganadera de esta región.

En el Altiplano Boliviano, ubicado a 3640 m.s.n.m., se obtuvo 818.158 cabezas de ganado bovino para el 2017, según datos del (OAB). La zona es uno de los pilares de la economía regional. Pese a las dificultades que enfrenta la población del ganado bovino en el sector de las tierras altas, se ha convertido en los últimos años en una de las principales actividades económicas (Cardozo, 2007).

El crecimiento de la poblacional presenta un aumento de menor proporción anualmente, como se aprecia en la Figura 7,

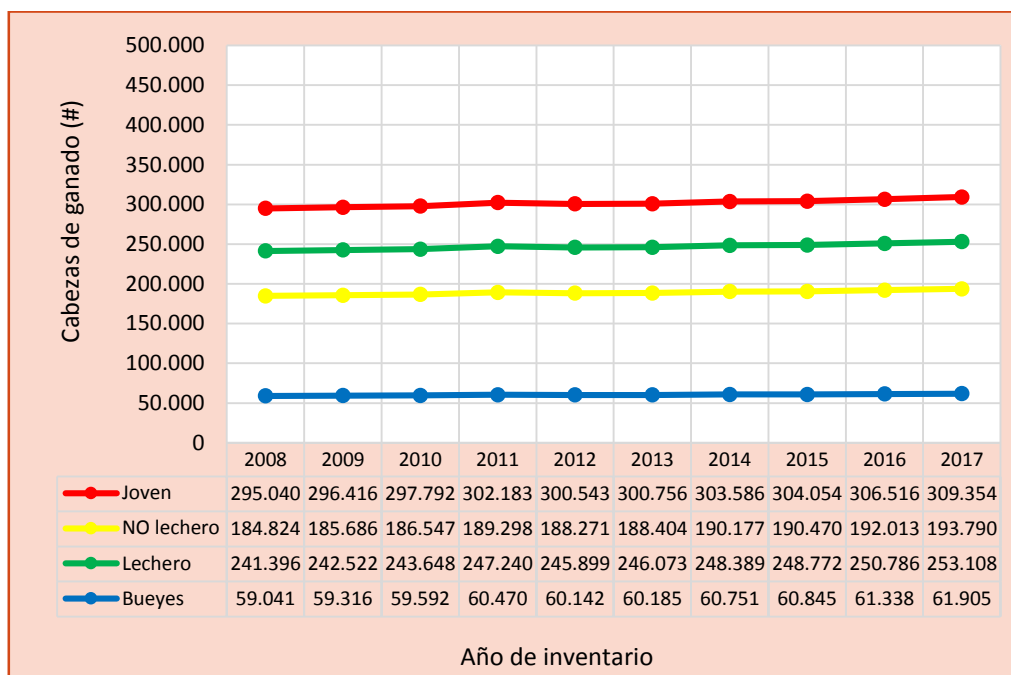


Figura 7. Población ganadera bovina de la región de las Tierras altas de Bolivia

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017).

Las difíciles condiciones climáticas y poca disponibilidad de recursos naturales en esta región, no favorecen la práctica de las actividades agropecuarias. Se asume que las variaciones de las poblaciones en las tierras altas se debió a los eventos extremos y a los efectos del cambio climático como fue la sequía del 2016 (Ministerio de Defensa Civil, 2017), razón por la que los últimos años el incremento del ganado fue bajo, que dependió de la alimentación de forrajes y pasturas que fueron afectados por las alteraciones del factor ambiental.

Por otro lado, la población ganadera de bueyes es escaso, porque este es utilizado solo para trabajos de labranza y faeneo, además que experimenta un proceso de desaparición por el incremento de las maquinarias. El minifundio, es otro factor que podría afectar la tenencia de ganado bovino, y por lo tanto, se convierte en factor limitante que dificulta el acceso a créditos para los campesinos productores de esta región (plazos, tasas, etc.). Otro de los factores que limita la cantidad de bovinos en esta región, es la falta de forraje y de tecnologías adecuadas para almacenar alimentos para el ganado; las dificultades que enfrentan las familias campesinas en las regiones altas para la cría de ganado son variadas y afecta especialmente la producción de leche Waghorn (2008). Este contexto coincide con los resultados encontrados en la presente

investigación, el cual muestra una decreciente población de ganado bovino de la región de las tierras altas, los cuales depende del factor climático y de la producción de forrajes (Coppock y Valdivia, 2001).

Las región de las tierras altas en Bolivia carece casi constantemente de fuentes de alimentación para el ganado en las épocas secas, para soportar la población ganadera, su alimentación en su mayoría se basa en el pastoreo de campos nativos (CANAPAS) y campos en descanso (CADES), los cuales presentan en algunos casos buena calidad forrajera, dependiendo del tipo de asociación vegetal, además de un complemento alimenticio en época seca otorgado, como la cebada que es conservada en forma de heno, asimismo del rastrojo de cultivos (Vargas, 2007). El mismo autor sostiene que los factores de mayor incidencia en el crecimiento de los pastos y praderas son aspectos climáticos, como heladas, sequia, granizos, fenómeno de El Niño, los cuales influyen negativamente en la productividad ganadera.

Por otro lado, Ormachea y Ramírez (2011) mencionan que el desarrollo de la ganadería bovina en el altiplano, responde a las necesidades de pequeños y medianos productores, y el hato ganadero en la región no recibe un manejo adecuado, por lo que en general sigue siendo de múltiple propósito (producción de carne, leche y tracción animal), lo que muestra el escaso desarrollo de una ganadería especializada y con características modernas, por tanto predomina la raza criolla, las importaciones esporádicas de razas no han logrado un mejoramiento efectivo y generalizado del hato ganadero del país.

En el mismo sentido, SENASAG (2012) sostiene que la población ganadera en el Altiplano Boliviano esta manejado predominantemente por pequeños productores, con hatos ganaderos menores a 10 cabezas, poco o casi ninguna inversión en infraestructura productiva y limitada superficie para sus cultivos forrajeros. Sin embargo MACA (2005) indica contrariamente que la ganadería es afectada por los eventos climáticos que con el fin de garantizar sus ingresos y asegurar la subsistencia de la familia, en esta región una de las características de los productores campesinos, es la diversificación de su actividad productiva, ya que la producción ganadera puede ser afectada por los cambios climáticos y otros sucesos extremos.

5.1.2. Región del Valle.

Los resultados obtenidos de la región valluna se aprecian en el Cuadro 8 con un total de cabezas de ganado bovino de 2008 hasta el 2017. El ganado bovino incrementó en menor cantidad, en

las cuatro categorías posiblemente la presencia de los cambios climáticos que se suscitaron en los últimos años.

Cuadro 8. Población ganadera bovina en la región de los Valles de Bolivia

| Categoría | 2008 | 2017 | Porcentaje |
|-------------------|---------|---------|------------|
| Ganado Joven | 538.508 | 567.841 | 38,2 |
| Ganado Lechero | 440.598 | 464.597 | 31,3 |
| Ganado no lechero | 334.045 | 352.240 | 23,7 |
| buey | 95.803 | 101.021 | 6,8 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017).

Las mayores poblaciones corresponden al ganado joven y lechero, como se observa en la Figura 8 el crecimiento de la población del 2008 al 2017, fue de 38% el ganado joven, 31,3% el ganado lechero, 23,7% el ganado no lechero y 6,8% el buey, respecto del total de la población ganadera de esta región.

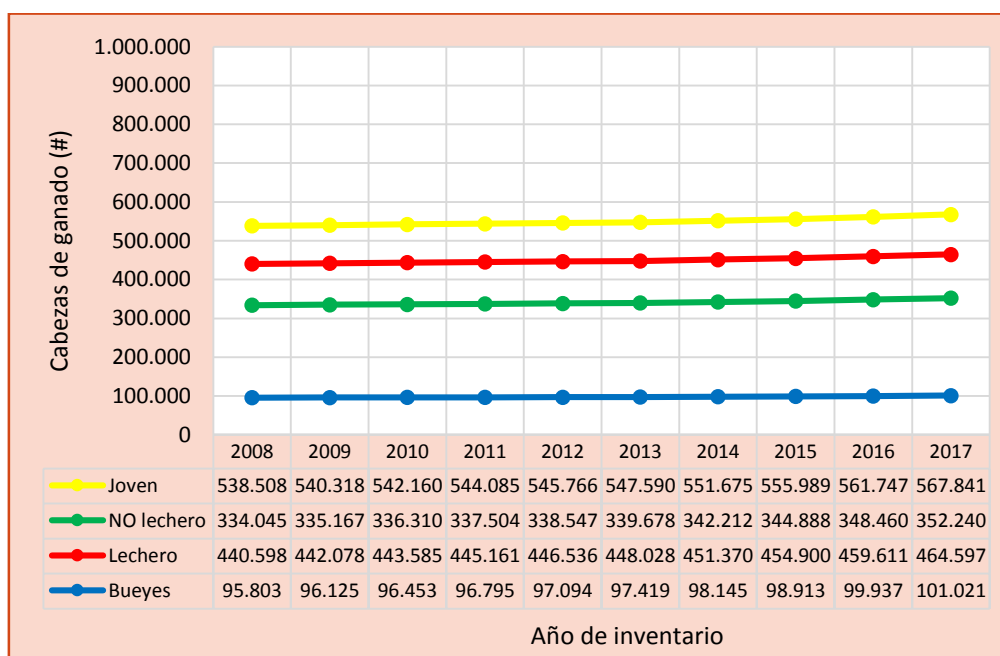


Figura 8. Población ganadera bovina de la región del Valle

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017).

La variación en la población de ganado bovino está directamente relacionado con la disponibilidad de alimentos, y por lo tanto, dependen de los factores de producción. Numerosos valles en Bolivia, situados en las laderas altas de la Cordillera Oriental, no reciben suficientes lluvias, estos se sitúan en los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí, Tarija y La Paz, se ubican generalmente entre 2800 y 1800 m.s.n.m. Por otro lado, en los valles centrales,

la alimentación se basa en la chala de maíz, afrecho y la alfa alfa verde, forrajes que en buena parte son producidos en las fincas de los productores. Asimismo, se complementa la dieta con alimentos concentrados como cáscara de soya y pepa de algodón (Sucre y Heredia, 2005).

En los departamentos mencionados el sistema es intensivo, caracterizado por la alimentación con forrajes, pastoreo y alimento balanceado, el ganado es cualitativamente mejorado y de alto rendimiento, aunque persiste la dificultad de producción de forrajes en grandes extensiones por el minifundio. Las superficies cultivadas con forraje son por lo general bajo riego, por lo que se tiene altos rendimientos y disponibilidad de este forraje durante gran parte del año. (Vargas *et al.*, 2005). Con la producción excedentaria se elabora ensilaje para la alimentación del ganado durante la época de estiaje, el cual estaría relacionado con el mayor número de cabezas de ganado lechero y joven presentes en esta región; sin embargo, en el manejo de ganado, muchas zonas están basados en sistemas de pastoreo libre.

En consecuencia, el aumento de la población ganadera bovina también está relacionado con el tipo de alimento, el cual en los valles puede tener una buena composición nutricional favoreciendo el metabolismo del animal (Medina, 2012). Así mismo, el clima favorable para el crecimiento de plantas forrajeras en esta región, caracteriza con la existencia de mejores condiciones de cosecha de forraje. Sin embargo, Waghorn (2008) revela que para zonas templadas existe una relación del incremento de la población ganadera con la mayor producción de alimentos como forrajes y pastos; asimismo la FAO (2009) sugiere que hay una relación entre la producción de piensos, necesidades calóricas y nutricionales con el aumento de la población ganadera bovina.

5.1.3. Región de Tierras Bajas.

Del mismo modo el Cuadro 9 expresa, el total y el porcentaje de cabezas de ganado bovino de 2008 al 2017 que las mayores poblaciones corresponden también al ganado joven y lechero.

Cuadro 9. Población ganadera bovina en las tierras bajas de Bolivia

| Categoría | 2008 | 2017 | Porcentaje |
|-------------------|-----------|-----------|------------|
| Ganado Joven | 2.265.659 | 2.815.587 | 40,5 |
| Ganado Lechero | 1.853.721 | 2.303.662 | 33,1 |
| Ganado no lechero | 1.334.050 | 1.657.855 | 23,8 |
| buey | 144.116 | 179.096 | 2,6 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017).

La población del ganado joven muestra de 2.265.659 cabezas de bovino el 2008 para el 2017 alcanzó a 2.815.587 cabezas con un porcentaje de 40,5% respecto del total de población ganadera en las tierras bajas y de 33,1% las vacas lecheras, 23,8% el ganado no lechero y 2,6% el buey, respecto del total de población ganadera de la región. El incremento de cabezas de ganado fue paulatinamente en menor ritmo del 2008 respecto al 2017, así como se observa en la Figura 9.

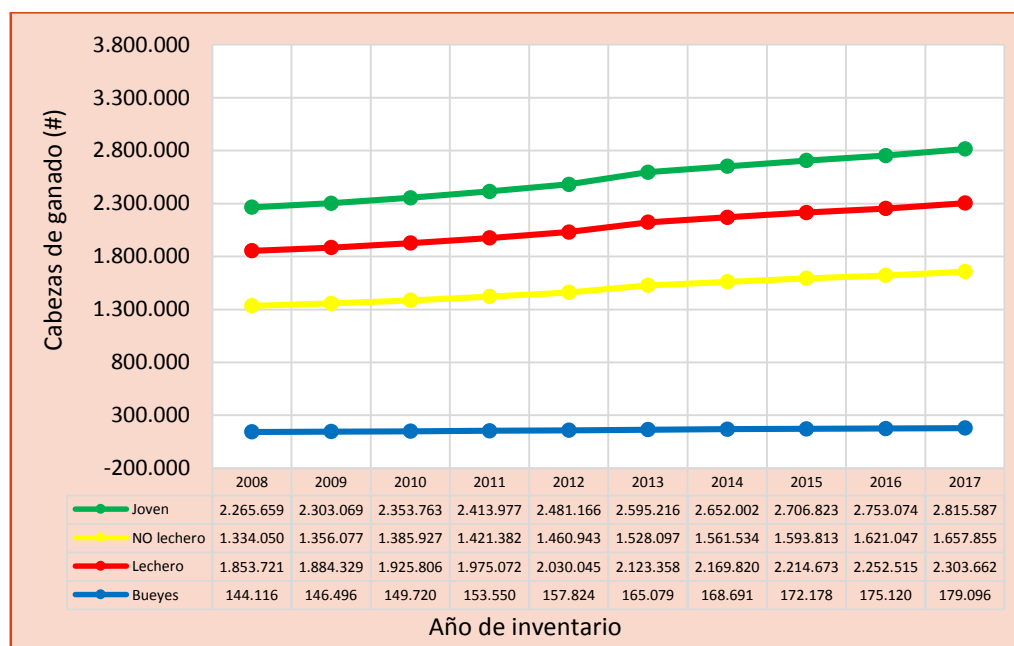


Figura 9. Población ganadera bovina en las Tierras Bajas de Bolivia
Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, Información de OAP (2017).

Las variaciones de las poblaciones de ganado en las tierras bajas durante el periodo mencionado pueden estar explicados por algunos factores como la raza del ganado, alimentación, sanidad y el clima (Romero, 2005). El aumento de las amenazas climáticas relacionadas principalmente con el incremento de la temperatura, las inundaciones, heladas y sequías, entre otros, han evidenciado impactos en el desarrollo de la población ganadera en Bolivia (MDRyT, 2016).

El incremento de la población de ganado, no solo se debe a las condiciones del ecosistema donde se pastan este tipo de ganados, sino también a la presión por parte de la población en el requerimiento de proteína (carne y leche). La producción de carne en Bolivia presenta una tasa de crecimiento cercana al 2,97 por ciento anual y es semejante a la tasa de crecimiento de la población nacional. Corresponde a la carne bovina la mayor participación en la estructura de producción de carne, seguida por la carne de pollo (IICA, 2007).

El aumento de la población ganadera en Santa Cruz es continuo, básicamente debido al tipo de manejo del ganado que se da en esta región. Actualmente el hato ganadero en Santa Cruz tiene un crecimiento de 4% en 2017, en cual representa 3.978.264 cabezas. Las perspectivas de crecimiento son enormes porque se han incrementado las hectáreas de desmonte que servirán para implementar pasturas para el ganado. El total de ganado bovino en Bolivia es de 8.315.504, entre Beni y Santa Cruz es 6.207.860, haciendo el 74% de Bolivia. Desglosando datos: Santa Cruz tiene 43% y Beni 31%, del total nacional (FEGACRUZ, 2015).

El departamento de Santa Cruz cuenta con una superficie de 370.621 Km². Con una población de 1.890.563 cabezas, distribuidos en 32.000 productores. Haciendo una ocupación de 10.000.000 ha. Con 600.000 ha. de pastos cultivados y el saldo son pastos naturales, con una oferta anual de carne bovina de 38.430 TM y una oferta anual de leche 150.000.000 litros. Una participación en el PIB regional del 14 %. El consumo per cápita de carne bovina en Santa Cruz es de 30 Kg./hab./año. A nivel nacional es de 20 Kg./hab./año (FEGASACRUZ, 2001).

Bolivia para el año 2017 contó con un total de 9.260.058 cabezas de ganado bovino, menor población en comparación con el último censo de la población de Uruguay para, el 2011 presentó 10.740.228 bovinos pastaban sobre la pradera del país, según el Censo Nacional Agropecuario, la población bovina creció a mayor ritmo que la humana, según el World Factbook de la Cia el 2016, había 3.351.016 personas, lo que implica un crecimiento del 2,1% respecto a los datos del censo. Según el anuario del Ministerio de Ganadería, en ese año había 12,1 millones de cabezas de ganado, un 12,6% más que el 2011. Esto implica una relación de 3,6 bovinos por cada uruguayo residente en el país (Censo Nacional Agropecuario, 2016).

En reportes similares se estableció que Argentina es uno de los principales exportadores mundiales de carne y en sus vastos campos hay actualmente alrededor de 51 millones de bovinos, cuyos gases componen el 30% de las emisiones que generan el efecto invernadero en el país, según datos del INTA. Cada vacuno emite entre 250 y 300 litros diarios de metano puro a la atmósfera, más que nada a través de eructo. “como fuente de energía hoy es poco práctica, pero si lo miras proyectado al 2050, cuando las reservas de combustibles fósiles van a tener problemas, es una alternativa” afirmó el científico con base en Castelar, en las afueras de la ciudad de Buenos Aires. También es una medida de mitigación, el metano es un gas de efecto invernadero 23 veces más potente que el dióxido de carbono, (Berra 2013).

Según reportes generados, en el 2004 Colombia era responsable del 0.37% del total de GEI emitido por el mundo y sus emisiones per cápita estaban por debajo del valor medio mundial y distantes de los valores reportados para Asia Occidental, Europa y Norteamérica. Sin embargo, Colombia es altamente vulnerable a los efectos de cambio climático, ya se han evidenciado sus consecuencias. Al respecto, en Colombia se espera un aumento de temperatura de 1 a 2 grados centígrados para el año 2050 (IDEAM, 2009; Zamora, 2013).

5.1.4. Incremento en porcentaje de la ganadería bovina en Bolivia de las tres regiones

El cuadro 10 muestra el incremento poblacional de la ganadería bovina en Bolivia.

Cuadro 10 Incremento en porcentaje de la población bovina de las tres regiones

| Porcentaje Ganadería bovina en Bolivia 2017 | |
|---|--------------------------|
| Regiones | Incremento poblacional % |
| Tierras altas | 4,85 |
| Valles | 5,45 |
| Tierras bajas | 24,27 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017).

Donde se observa que el 2017, la región de las tierras bajas es donde presentan incrementos mayores con 24,27% en comparación a otras regiones del país, porque la región baja alberga y favorece a la producción y reproducción del hato ganadero, por presentar clima cálido y disponibilidad de alimento para el ganado. El sistema ganadero boliviano tiene el manejo del hato, casi tradicional debido a un escaso uso de capital, el sistema de producción es básicamente extensivo en un 90% en las regiones tropicales de Bolivia, el 10% restante corresponde a los sistemas semi-intensivos e intensivos. Por otro lado la actividad ganadera en el altiplano boliviano, toma formas variadas en lo que consiente a la importancia que tiene en el sistema de producción por lo que el incremento es bajo (FEGACRUZ, 2015).

De hecho, otros estudios también han mostrado que hay un comportamiento de incremento de la población ganadera. De ahí que se evidencia que la existencia de cabezas de ganado bovino en tierras bajas, entre los años de 1999 a 2002 experimentó una positiva evolución con el predominio del Beni, seguido por el Departamento de Santa Cruz y Pando. Hasta fines del 2002, aunque Beni continúa teniendo la mayor población ganadera (44,49% hasta el 2002), se ha observado un crecimiento importante en el Departamento de Santa Cruz (con un crecimiento de 0,45% cada año en el número de cabezas de ganado bovino y un 28,33% de proporción respecto

del total nacional en la población ganadera) y una disminución de la población ganadera en el Departamento de Beni (de un 46,96% de predominio en población ganadera a 44, 49%) (MDRAMA-VDRA, 2006).

5.1.5. Análisis poblacional de la ganadería bovina por regiones y categorías.

Bolivia cubre un área de 1.098.581 Km² de superficie, con un stock vacuno de 9.260.058 según datos del 2017 como muestra la Figura 10. Se definieron tres regiones según su aptitud productiva y eminentemente pecuaria las cuales son: tierras altas, valles y tierras bajas, los resultados del cálculo de la población bovina en promedio.

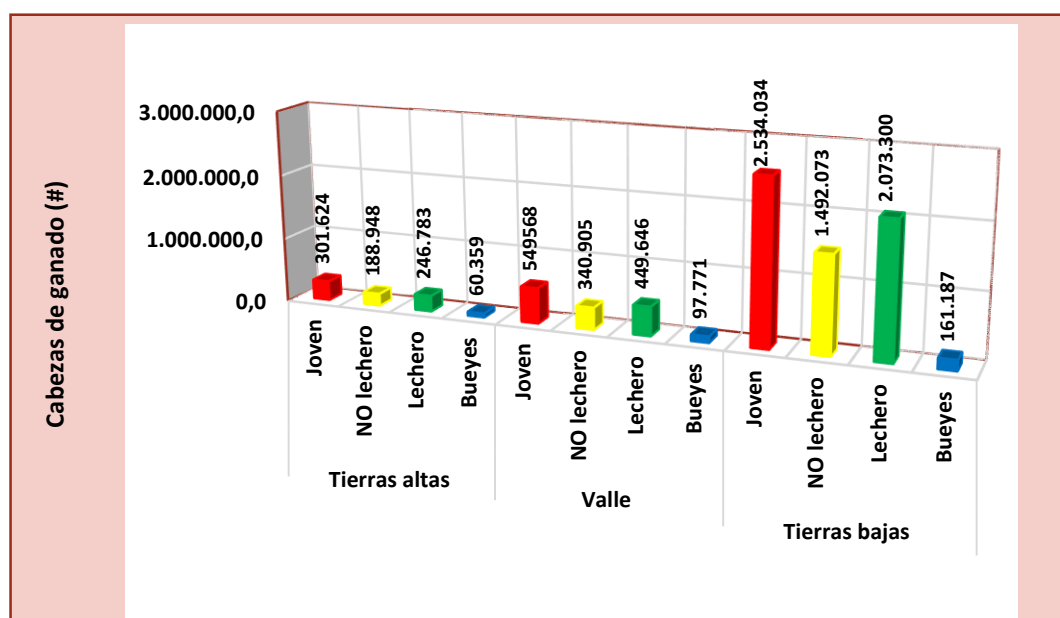


Figura 10. Promedio de la población ganadera bovina por regiones y categoría 2008- 2017
Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017).

La población de ganado bovino predominante en Bolivia para el periodo 2008 al 2017, es el ganado Joven en tierras bajas, el cual muestra la existencia de 2.534.034 cabezas de ganado, con una desviación estándar de 197.158,4. Contrariamente el ganado con menor población durante el periodo señalado fue de Bueyes con 60.359 cabezas de ganado con una desviación estándar de 897 en la región de tierras altas. La población ganadera bovina está localizada principalmente en el oriente boliviano, con alrededor de 7 millones de cabezas (MDRAMA-VDEA, 2006), este dato coincide con los datos del presente trabajo.

Bajo estos resultados podríamos decir que, en las tierras altas de Bolivia, se aprecia que la población del hato de bovinos, fue menor en comparación a la región de las tierras bajas, esto

se presume a que esta región no es favorable a ciertas razas de ganado, por la rusticidad del clima y baja producción en vegetación.

Según la Figura 10, la mayor población ganadera bovina, está en la región de las tierras bajas de Bolivia, donde la presencia del ganado bovino joven y lechero predominan con mayor número de cabezas, favorecido por el clima. Pese a los factores adversas, la actividad ganadera bovina sigue creciendo, porque se caracteriza por ser animales fuertes, grandes y útiles para el trabajo pesado, además el trópico presenta mayor densidad de especies forrajeras, el clima ayuda por poseer precipitaciones constantes que benefician al desarrollo de las mismas, esto ayuda a la mayor producción y reproducción en el ganado bovino. Uno de los grandes problemas que enfrenta Bolivia es la pérdida de ganado por efecto de los eventos extremos por el cambio climático en las zonas bajas (MDRAMA-VDEA, 2006).

Cardozo (2007) manifiesta que el problema que presenta en el altiplano, es el orden reproductivo, esto no es extraño cuando se trata de animales de alta producción, como el caso de las vacas mestizas y Holstein, además cuesta más persuadir al productor que realice la recría, pues los recursos del predio son destinados por el productor con preferencia al grupo de vacas en producción, esta práctica condiciona al manejo de los animales y también las dificultades que tienen algunos tipos de prácticas en lo referente a asistencia técnica y capacitación, sin lugar a dudas la lechería en el Altiplano es una actividad consolidada que puede ofrecer tanto a productores como a transformadores cada vez mejores posibilidades, siendo el mayor beneficiario el consumidor, quien encontrará una variedad de productos de mejor calidad a su alcance.

La existencia de ganado en tierras bajas, entre los años de 1999 a 2002 experimentó una positiva evolución, especialmente el Departamento del Beni, seguido de Santa Cruz y Pando, hasta fines del 2002, datos que coinciden en el crecimiento poblacional de Beni y Santa Cruz, aunque Beni continúa teniendo la mayor población ganadera (44,49% hasta el 2002), se ha observado un incremento importante en Santa Cruz (con un crecimiento de 0,45% por año en el número de cabezas de ganado bovino y un 28,33% de proporción respecto del total nacional en la población ganadera) y una disminución de la población ganadera en el departamento de Beni (de 46,96% de predominio en población ganadera a 44, 49%) (MDRAMA-VDRA, 2006).

INE (2017) indica que la ganadería bovina en Bolivia y sus principales productos, carne y leche tienen una alta importancia dentro de la actividad económica nacional. La ganadería participó con un 3% en promedio del PIB agropecuario en crecimiento, el 2011 de 2% y el hato bovino de 7.786.801 cabezas, en Bolivia de los cuales los llanos orientales y el chaco poseen el 72%, los valles albergan el 18 % y la región del Altiplano el 9%.

Los resultados totales obtenidos en el presente inventario el 2017 fue de 9.260.058 cabezas de ganado bovino de las tres regiones y cuatro categorías de Bolivia, comparando con los datos encontrados del 2011 según INE, la población ganadera ha ido incrementándose en los últimos años y los resultados encontrados del territorio peruano el 88% de ganado está en manos de pequeños productores y el 55% de los ganaderos que vive en extrema pobreza. En Bolivia el 87% de los predios ganaderos son pequeños (menos de 25 vacas) y sostienen al 43% del ganado vacuno (Gómez, 2017).

Uno de los factores reconocidos en la variación de la población ganadera, sea positiva o negativa, es el tipo de sistema en el que es criado. El 90% de la producción ganadera se basa en pasturas nativas y Beni cuenta con grandes extensiones de pastos naturales con altos rangos nutricionales (Machon, 2008); también, las enfermedades son causa de disminución de población de ganado en Bolivia, por ejemplo, la presencia de fiebre aftosa, ha representado grandes pérdidas por mermas en la producción del ganado (Foronda, 2004); también se ha registrado que el ganado criollo ha mermado su población por la introducción de otras razas, como el Holstein y Cebuino; el resultado fue drástica disminución de la población de ganado criollo en casi todo el territorio nacional, a excepción de algunos Valles Interandinos y Altiplano (Vaca, 2003). Las disminuciones de la población ganadera bovina más sentidas en Bolivia han sido por efectos del cambio climático y los eventos extremos; como es la sequía y el efecto de El Niño/La Niña el 2016, afectaron a más de 20 mil cabezas de ganado producto de la sequía (Melo *et al.*, 2016).

En cuanto a las prácticas de manejo en reproducción, la mayoría (99%) de las explotaciones hacen apareo libre (permanencia de toros con el hato durante todo el año). En muchos casos, existe un elevado porcentaje de fincas que no disponen de toros, situación que afecta los índices de parición, porque los ganaderos no alquilan reproductores (FEGASACRUZ, 2015).

El mismo autor atribuye, que al mantenerse los animales sin división por categoría, la reproducción no sigue un manejo adecuado, particularmente en el caso de vaquillas que son montadas extemporáneamente. El uso de inseminación artificial en los últimos años, paulatinamente se va incrementado, aunque el actual porcentaje de cobertura todavía es considerado bajo.

según el Censo Nacional Agropecuario Anuario del Ministerio de la Ganadería de Uruguay, manifiesta que la producción ganadera es tan importante que el número de vacunos supera casi cuatro veces a la población humana, logrando ser una región reconocida por la calidad de su carne a pesar de poseer un territorio pequeño,

5.2. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE METANO PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA POR REGIONES Y CATEGORÍAS.

5.2.1. Región de las Tierras Altas de Bolivia.

El Cuadro 11 muestra la estimación de emisiones de gases de metano por fermentación entérica del ganado bovino de 2008 al 2017.

Cuadro 11. Estimación de emisión de gases de metano por fermentación entérica en las tierras altas de Bolivia

| Categoría | 2008 (Gg) | 2017 (Gg) | Porcentaje |
|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Ganado Lechero | 15,93 | 16,70 | 46,0 |
| Ganado Joven | 7,37 | 7,73 | 21,3 |
| Ganado no lechero | 8,05 | 8,44 | 23,2 |
| buey | 3,31 | 3,47 | 9,5 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

El mayor emisor de gases de metano fue el ganado lechero con 46% de emisión el 2017 y un desvío estándar del 2% seguido del ganado joven y no lechero (21,3% y 23,2%) con desvío estándar de 0,1%, el ganado buey emitió 9,5% con una desviación estándar de 0,1 el aumento de las emisiones anuales fueron en menor proporción en las cuatro categorías en los años mencionados.

La Figura 11 muestra datos de emisiones de 2008 al 2017 de las cuatro categorías de ganado.

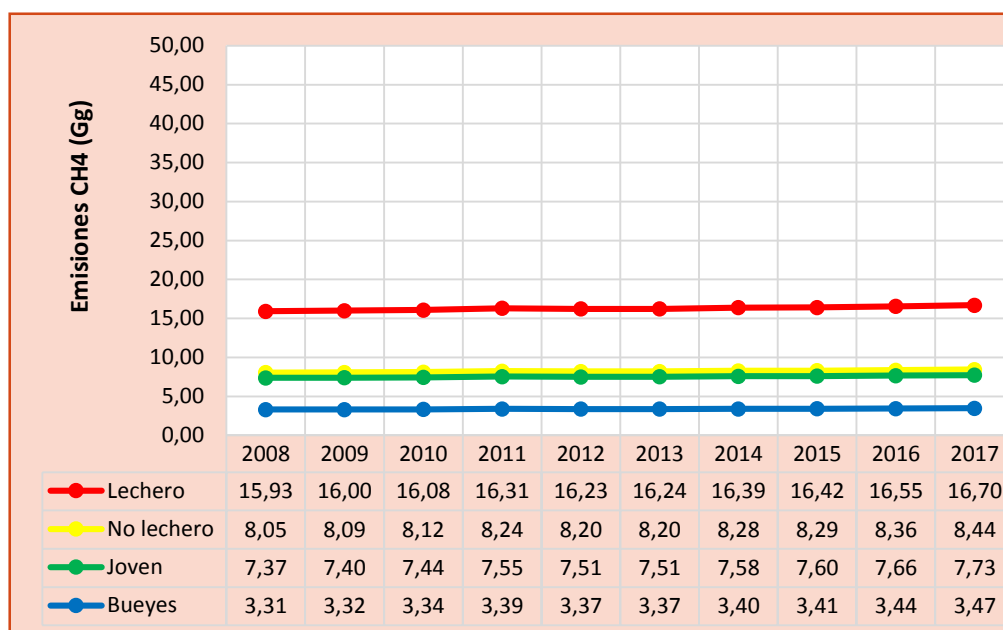


Figura 11. Estimación de emisión de gases de CH₄ provenientes del ganado bovino por fermentación entérica en las Tierras altas de Bolivia

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

En la región, el ganado lechero emite mayor cantidad de gas metano en comparación a otras categorías, por las exigencias fisiológicas de su organismo lo que obliga al animal alimentarse más que otros ganados, seguido del ganado joven y no lechero esto podría aseverar que el aumento paulatino de la población ganadera de bovinos y la alimentación, clima, no permiten mayor desarrollo en comparación a las tierras bajas. Estos resultados nos muestran que al pasar los años también aumentan las emisiones de gases de metano por el crecimiento poblacional de bovinos y/o factores ambientales, como se muestran los datos obtenidos por MMAyA-VMA-PNCC (2009) quienes obtuvieron en los inventarios de GEI del 2002 y 2004 en la región del altiplano boliviano, mayores emisiones en promedio, en el ganado Lechero Adulto (6,03 Gg CH₄) y ganado Joven (6,5 Gg CH₄).

Las cantidades en las emisiones pueden diferir por las siguientes características: La producción de CH₄ en los rumiantes está influenciada por factores como la edad del animal, consumo de alimentos, composición de la dieta, digestibilidad del alimento, procesamiento previo del alimento (físicos y químicos) y frecuencia de alimentación (Bonilla y Lemus, 2012).

Independientemente del ecosistema como en tierras altas influyen dos factores que son: edad del animal y tipo de forraje consumido. Como muestra la Figura el ganado que menor cantidad emite son los bueyes. Según Relling y Mattioli (2003) la formación de metano en el rumen del animal difiere grandemente entre los neonatos (40%) y los adultos (90%), lo que facilita al animal joven digerir la leche ingerida desde la madre.

Por otro lado, teniendo en cuenta el tipo de forraje, la región de tierras altas en Bolivia, las emisiones son de menor cantidad, debido a que los forrajes naturales (el 90% de pastoreo se realiza a campo abierto en Campos Naturales de Pastoreo - CANAPAS), tienen una estructura más fibrosa (C3, por ejemplo, *Stipa ichu* y *Festuca dolichophylla Pres*) ya que su capacidad de fijación de CO₂ es inferior a las plantas de tipo metabólico C4 (las C4, por ejemplo *Eragrostis curvula* y *Distichlis humilis*), quienes necesitan más agua y fijan de 80 a 100% del CO₂ (Ramos, 2004). Por lo que necesitarían menor tiempo de digestión en el rumen del animal (tasa de pasaje ruminal más lenta), sin embargo, el consumo de especies C4 en comparación con las C3 se ha relacionado con una menor producción de leche y/o carne, lo cual resulta en una mayor emisión de metano por unidad de producto (Waghorn y Hegarty, 2011).

Las características de la dieta tienen un gran efecto en la producción de gases de metano a nivel global, de ahí que países con pocas limitaciones alimentarias para sus ganados, reportan datos de menores emisiones de metano y mayores eficiencias energéticas (Guzmán y Sager, 2013).

A pesar de la provisión de forrajes y pastos nativos que consume el bovino es muy baja en época seca, sin embargo, representa el ingrediente principal de alimentación para los sistemas de producción ganadero en las tierras altas. Debido a los bajos niveles nutritivos en algunos forrajes, y al desequilibrio entre los requerimientos fisiológicos del animal y la disponibilidad de energía, las variaciones de consumo para rumiantes se encuentran influidas parcialmente por la digestibilidad del alimento, los estudios de carga animal sobre los agostaderos son escasos, la calidad de los pastos es pobre, lo cual repercute la generación de metano en bovinos.

Así mismo, el factor de consumo de materia seca en el altiplano, podría influir sobre la emisión de metano. Las primeras investigaciones evaluaron el efecto del consumo sobre la producción de metano encontraron una estrecha relación con la cantidad de alimento y la digestibilidad de la dieta, presentándose una mayor producción de metano en dietas de baja digestibilidad a un nivel de consumo de mantenimiento, por el contrario, dietas con alta digestibilidad y un

consumo tres veces mayor al de mantenimiento disminuyó la producción de metano (30%). El aumento en el consumo de MS se relaciona con una mayor tasa de paso y la disminución en la degradabilidad de la dieta, que resulta menor producción de metano (Pinares-Patiño et al., 2003)

5.2.2. Región de los valles.

El Cuadro 12 presenta la emisión de gases de metano del ganado bovino en los valles de Bolivia desde el 2008 hasta el 2017.

Cuadro 12. Estimación de emisión de gases de metano por fermentación entérica en la región del Valle

| Categorías | 2008 (Gg) | 2017 (Gg) | Porcentaje |
|-------------------|-----------|-----------|------------|
| Ganado Lechero | 32,30 | 34,06 | 47,7 |
| Ganado Joven | 14,93 | 15,74 | 22,0 |
| Ganado no lechero | 14,77 | 15,58 | 21,8 |
| buey | 5,76 | 6,07 | 8,5 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017)

Se observa como mayor emisor de gas metano, al ganado lechero en la región valluna, con 47,7% el 2017 y un desvío estándar de 0,6% seguido del ganado joven y no lechero (22% y 21,8%) con desvío estándar de 0,3%, el ganado buey emitió 8,5% con una desviación estándar de 0,1. Los resultados de las desviaciones indican que el aumento de las emisiones del 2008 respecto del 2017 fue minúsculo en las cuatro categorías, favorecidas por el clima que presenta la región.

La región presenta situaciones especiales en cuanto a ecosistemas, presencia de forrajes, manejo de ganado, así como su climatología difiere del resto del país, y cada tipo de valle, cuenta con condiciones de sitio diferentes, lo que encierra una gran cantidad de incertidumbre en cuanto a los orígenes de sus emisiones. Entre las causas de las variaciones de las emisiones en esta región estarían relacionados al tipo de alimentación que consume.

En la Figura 12 se observar claramente las emisiones de metano del ganado bovino de los valles.

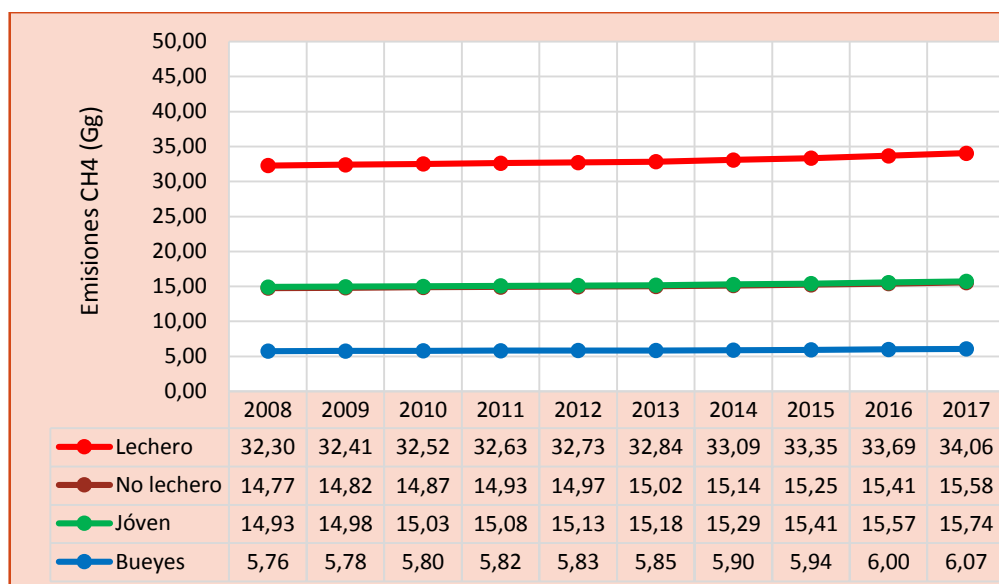


Figura 12. Estimación de emisión de gases de CH₄ provenientes del ganado bovino por fermentación entérica en la región de Valles de Bolivia

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

Según Ulyatt *et al.* (2002), la mayor producción de metano asociados con la alimentación de pastos de clima templado puede deberse a un mayor contenido de carbohidratos estructurales y lignina (plantas C4), por tanto, un menor consumo de pastos tipo C3, deberían reducir sus emisiones. En general, el aumento de la digestibilidad de los forrajes debería aumentar la producción animal y reducir la intensidad de emisión de CH₄ entérico (FAO, 2013).

La degradación ruminal de un forraje o una dieta depende no sólo de sus características químicas y físicas sino también de su tiempo de retención (tasa de pasaje) en el rumen. Es ampliamente aceptado de manera general que las propiedades del forraje que disminuyen su digestibilidad o prolongan su permanencia en el rumen, aumentan la cantidad de metano producido por unidad digerida y de manera inversa, que la producción de metano disminuye con el aumento de las tasas de pasaje ruminales (Ribeiro *et al.*, 2014). Esta relación inversa entre la producción de metano y tasas de pasaje es consistente con la disminución del 5,3% (ganado joven), 1,5% (ganado No lechero), y 2,9% (ganado Buey), debido a que en los valles bolivianos normalmente se hace uso de dietas compuestas, por lo tanto, ricos en C3. Al respecto, las gramíneas C4 tienen generalmente una pared celular con mayor contenido de carbohidratos y menor digestibilidad comparadas con los pastos de clima templado en la misma etapa de crecimiento.

Marín (2013) a medida que aumenta la proporción de carbohidratos de la pared celular en la dieta de los rumiantes a altos niveles de consumo de alimento (dietas óptimas), sus emisiones de metano también aumentan. Por lo tanto, en ecosistemas de clima templado, es de esperarse mayores emisiones con gramíneas C4 que con plantas C3, en el mismo nivel de consumo.

Otra de las causas de la variación de emisiones en la región de los valles es el sistema de producción intensivo al cual está sometido el ganado bovino. El manejo de la ganadería, generan altas emisiones de GEI por procesos metabólicos como la fermentación entérica, por lo que de la cantidad y calidad del alimento ingerido, influye en la producción de metano, dentro de la composición nutricional del alimento, es esencial que la digestibilidad sea alta, y en sistemas intensivos este tipo de manejo de ganado en valles es crucial ya que no existe mucha posibilidad de ampliar el área de manejo debido a que en estas regiones normalmente se tiene alta pendiente de suelo, y las condiciones deben ser eficientes en el manejo de su alimentación (Rivera, 2015).

Las condiciones de clima también afectan a las emisiones en las regiones del Valle, existe una fuerte relación entre el ecosistema y producción primaria (Paz y Díaz, 2018). El aumento o disminución de los eventos en los valles ha hecho que las heladas blancas, granizos, inundaciones disminuyan la disponibilidad de alimento para el ganado bovino, por lo que se deduce un efecto en el metabolismo del animal, puede haber una mayor cantidad de ingestión, en caso de fríos, o una reducción en periodos de escasas de forraje, y una consecuente variación en sus emisiones. Las emisiones más altas en cada tipo de animal, corresponde al ganado de consumo de gramíneas de baja calidad nutricional, con sistemas de pastoreo continuo y baja disponibilidad forrajera, mientras que los datos de emisiones más bajos corresponden a praderas mejoradas, a sistemas de pastoreo rotacional, fertilización y con alta disponibilidad de forraje (Carmona *et al.*, 2005).

En climas templados, el CH₄ emitido por unidad de materia seca digerida es mayor en el ganado bovino alimentado con pastos foráneos que se incluyen en su alimentación complementaria ya que las emisiones varían de 2% por animales que se alimentan con dietas de alto porcentaje de granos, a 12% cuando se alimenta con forraje de baja calidad (Pedreira *et al.*, 2009).

5.2.3. Región de las Tierras Bajas.

En el Cuadro 13 se observa las emisiones de gases de metano del ganado bovino de las tierras bajas de Bolivia del 2008 al 2017.

Cuadro 13. Estimación de emisión de gases de metano por fermentación entérica en las tierras bajas de Bolivia

| Categoría | 2008 (Gg) | 2017 (Gg) | Porcentaje |
|-------------------|-----------|-----------|------------|
| Ganado Lechero | 173,63 | 215,78 | 52,9 |
| Ganado Joven | 78,02 | 96,96 | 23,8 |
| Ganado no lechero | 66,30 | 82,39 | 20,2 |
| buey | 10,09 | 12,54 | 3,1 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

Las mayores emisiones corresponden al ganado lechero con 52,9% de emisión, con una desviación estándar de 15,1%. Esta categoría tuvo mayor dispersión contra las categorías mencionadas; como segundo emisor registró el ganado joven con 23,8% el 2008 respecto del 2017 y la desviación estándar fue de 6,8 el ganado no lechero presentó de 20,2% de gas metano con 5,8 de desviación estándar.

Como se puede observar en la Figura 13, el crecimiento de emisión de gases de metano, la categoría lechera es superior en comparación a las otras categorías mencionadas.

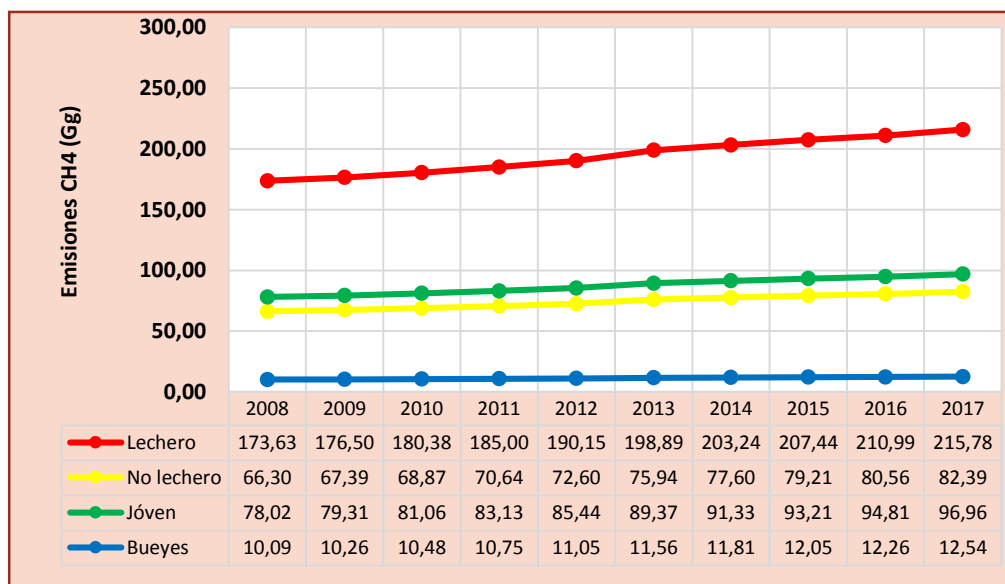


Figura 13. Estimación de emisión de gases de CH₄ provenientes del ganado bovino por fermentación entérica en la región de las Tierras bajas de Bolivia

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

Las emisiones de metano en zonas cálidas están sujetas al comportamiento climático y las características del ecosistema, que son favorables para la producción de forrajes y reproducción del ganado, la alimentación en las tierras bajas de Bolivia está basado principalmente en pastos nativos y cultivados (en el trópico se cultiva principalmente pastos *Brachiaria*), porque

representa un gasto menor en relación al cultivo de gramíneas y porque la vida útil de las pasturas es mayor, además de la existencia de gran cantidad de tierra que puede ser sembrada, se entiende que el ganado lechero y joven son los que consumen con frecuencia, por las exigencias nutricionales de su organismo. Estas zonas se caracterizan por tener grandes extensiones de terreno, de gran variedad de productos que son destinados para alimento del ganado, ya sea directamente (pastos forrajeros) o para la producción de alimento concentrado (maíz, afrecho de trigo, semilla y harina de algodón, afrecho de arroz, harina de soya) (Romero, 2007).

Estas características y tipo de alimentación, hace que las emisiones de metano por fermentación entérica en el ganado lechero y ganado joven sean las más altas, ya que no sólo es un enfoque para el crecimiento y la producción de leche, sobre todo a las ganancias del productor (Romero, 2005). Los últimos años aumentó la población bovina en la región de las tierras bajas es la que desarrolló mayor número de cabezas de ganado, razón por la cual se incrementó las emisiones de metano, esto vincula con el aumento de la población de animales a consecuencia de una elevada demanda de alimentos de origen animal (carne y leche) debido al crecimiento de la población humana.

Sin embargo, este tipo de manejo de pastos ocasiona ataques de plagas, enfermedades y factores climatológicos por lo que puede resultar negativamente, afectando incluso a la población ganadera. Por ejemplo, la reducción más importante en el periodo de estudio fue el 2015, en el que se redujeron las emisiones, posiblemente por la pérdida de la población ganadera especialmente en tierras bajas por efectos de las inundaciones a fines del 2014, lo que provocó la escases de forraje y por consiguiente se registró la mortandad del animal, a esto se sumó la sequía del año 2016 lo que disminuyó fuertemente la población ganadera.

El ganado lechero es la más dependiente del forraje de campo y al mismo tiempo es el que mayores emisiones aporta. Las características de los forrajes presentes en los campos de pastoreo determinan las cantidades de emisiones. El aumento de la edad de rebrote provoca cambios significativos en los componentes solubles, estructurales y la digestibilidad de los pastos, lo cual hace que su valor nutritivo disminuya con el avance de la edad, el cual promovería mayores tasas de emisión de metano, cuya tasa de reducción es mayor en las gramíneas que en las leguminosas (Sosa *et al.*, 2016).

Las bajas emisiones del ganado de bueyes están relacionadas con el bajo número de individuos ya que en las tierras bajas se utilizaba al buey como medio de carga, pero en las últimas décadas está siendo sustituido por el transporte mecanizado (Chambi, 2013), por lo que la población de bueyes ha mermado sustancialmente. Sin embargo, la poca utilidad del ganado por ende menor población está disminuyendo las emisiones de gases de metano, así mismo las mismas características del animal, la edad, es un factor preponderante en el metabolismo del animal, ya que está directamente relacionado con las características del rumen (Pérez, 2011).

De acuerdo a la revista Proceedings of the National Academy of Sciences (PENAS), Argentina aporta 15% de emisiones a la atmosfera el año 2013, con la ganadería como responsable de esta emisión, relacionadas con el CC y una parte importante de este problema se encuentra en el metano que expulsan el ganado vacuno, en un proceso de digestión. Pequeñas adaptaciones en la dieta de los rumiantes mejorando la calidad de los pastos y el pienso puede reducir la emisión del gas en la producción bovina, el mismo año se descubrió una molécula denominada 3-nitrooxypropanol que añadida a la dieta de estos animales puede reducir la forma significativa el problema de los gases (que principalmente se expelen por la boca). Un equipo internacional en el que han participado investigadores del consejo superior de investigaciones científicas (CSIC) dedujo la función exacta de la molécula, según detalla el artículo publicado en la revista Proceedings of the National Academy of Sciences (PENAS, 2013).

5.2.4. Síntesis de las tres regiones de emisión de gases de metano por la fermentación.

La figura 14 muestra el promedio de la cantidad más alta de emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica del ganado bovino en Bolivia en el periodo 2008 y 2017, pertenecen al ganado lechero de las tierras bajas, el cual en promedio muestra 194,2 Gg CH₄ y una desviación estándar de 15,1 con menores emisiones durante el periodo señalado, es de Bueyes con 3,4 Gg CH₄ y la desviación estándar de 0,9 para la región de tierras altas.

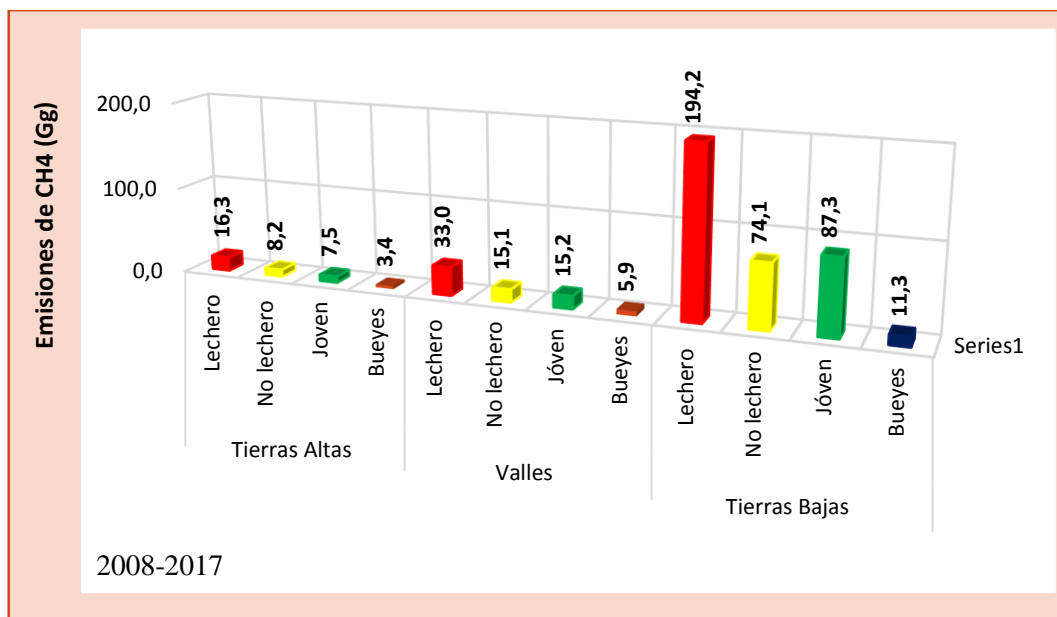


Figura 14. Promedio de emisión de gases de CH₄ por fermentación entérica en regiones (Tierras altas, Valles y Tierras bajas) categorizadas 2008 - 2017

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

Según los resultados, las tierras bajas registraron mayores emisiones de gas metano por ser zonas netamente ganaderas y por tener mayor número de ganado en relación al resto del país, esto se ha relacionado no sólo a las óptimas condiciones de crianza del ganado bovino, sino también a las especies forrajeras existentes en esta zona. Entre las categorías, el ganado lechero fue el mayor aportante con 53%, seguido del ganado joven y no lechero son los que más emitieron un promedio de 23,8 y 20,2%. Se estima que el ganado lechero por la mayor ingesta de forraje al rumiar degrada los alimentos consumidos, mismos que son digeridos en el rumen, al descomponerse la fibra, el organismo pierde más energía, por lo que provoca mayor producción de gas metano. En las tierras altas, la ganadería bovina presenta menores emisiones, debido a la menor cantidad de ganado.

Según FAO (2012), las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), del sector son la fermentación entérica por el proceso digestivo de los rumiantes, donde un 46% de las emisiones provienen de la producción de leche y 43% de la producción de carne de ganado bovino. Steinfeld *et al.*, (2006) atribuyen al sector ganadero una alta aportación en la problemática ambiental global. Los gases de efecto invernadero (GEI) establece que el 37% de las emisiones de gas metano son provenientes de la fermentación entérica y del estiércol, según revela el Boletín de la OMM (2014).

Haciendo una comparación con la república de Chile las estimaciones de GEI en la fermentación entérica del ganado fue del 31% de metano de origen entérico, se produce de manera natural como parte del proceso digestivo del ganado, siendo un sub producto de la descomposición microbiana de los alimentos ocurrida en el rumen. Por lo general, una vaca adulta produce 500 litros de metano al día, cantidad que depende en gran parte de su dieta. Además de sus implicaciones en el calentamiento global, la producción de metano por parte del ganado bovino representa una pérdida de aproximadamente el 6% de energía bruta aportada por los alimentos, energía que podría destinarse a la producción de leche, por lo tanto se debe mejorar la eficiencia del uso energético de los nutrientes consumidos en vacas lecheras mediante la reducción de las emisiones de metano que son de creciente interés (Alfaro, 2017).

Las diferencias entre las emisiones se dieron por las variaciones entre pisos ecológicos, características de la alimentación del animal. Según Johnson *et al.*, (2000), indican que la cantidad de carbohidratos fermentados en el retículo-rumen implican diversas interacciones dieta-animal que afecta el balance entre las tasas de fermentación de estos carbohidratos y la tasa de pasaje (por el tiempo de retención del alimento en el rumen). Por otro lado, estas diferencias también se dan por el tipo de manejo que se le da al animal, ya que la ingesta no solo tiene el propósito de producción de carne sino también de leche. Según la FAO (2010), el tipo de alimentación para lechería determina una mayor proporción de emisiones de metano que los que son criados por propósitos de carne; Sin embargo Beltrán-Santoyo *et al.* (2016) mencionan que la duplicación de la ingesta de energía total, el aumento del consumo de materia seca en relación al peso vivo y el incremento del concentrado en dietas para vacas con baja eficiencia alimenticia, podría mejorar la producción de leche y disminuir el impacto negativo por la emisión de metano por litro de leche producida.

5.3. EMISIÓN DE GASES DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA EN LAS CUATRO CATEGORÍAS.

De acuerdo al número y categorías de ganado bovino registrado durante el periodo de estudio, se pudo establecer, en cuatro grupos: ganado bovino (lechero, no lechero, joven, y bueyes), se aplicó el mismo sistema para las cuatro categorías, debido a la disponibilidad de información:

5.3.1. Ganado bovino lechero.

La Figura 15 muestra las emisiones del ganado lechero en las tres regiones, las mayores emisiones se han dado en tierras bajas, presentando una tendencia de crecimiento de forma ascendente en la dimensión por año, mayor que en valles y tierras altas (4,97 de pendiente en las tierras bajas contra 0,18 de Valles y 0,08 de Tierras Altas).

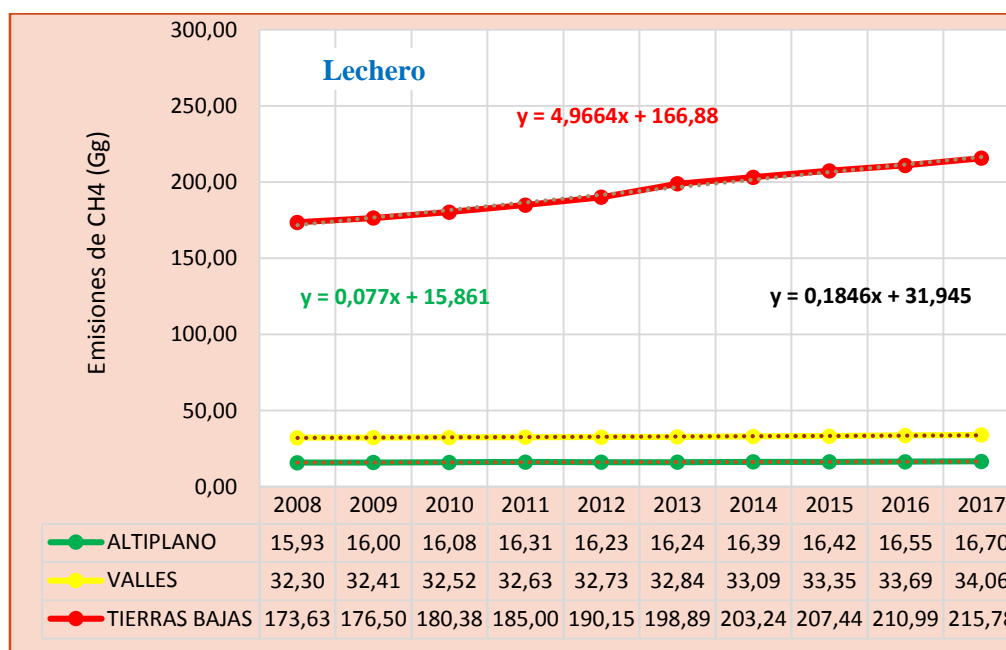


Figura 15. Emisiones de gases de CH₄ provenientes de la fermentación entérica de la categoría lechera.
Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

De acuerdo a los resultados del cálculo de las emisiones de metano debidas a la fermentación entérica, refleja que la curva muestra una pendiente positiva en las tres regiones, que van en ascenso, en mayor medida en tierras bajas. Las emisiones se han diferenciado mostrando un descenso de 16,23 Gg de CH₄ el 2012, para el 2017 ha ido incrementando a 16,70 Gg de CH₄ en tierras altas y 34,06 Gg de CH₄ en valles, este efecto podría ser por la tasa de mortandad presente en el periodo de estudio causado por las alteraciones del clima, frente a 215,78 Gg de

CH₄ en tierras bajas el 2017. Estas emisiones han estado relacionadas con la población ganadera por cada año, que ha ido variando desde 2008.

La diferencia, entre regiones se debe al número de cabezas de ganado por cada año y la cantidad de emisión de metano, sin embargo, una de las razones más sentidas en la región de tierras bajas es la pérdida de energía dietaria que los animales realizan al eructar gases de su sistema digestivo, se presume que por efectos del CC, la calidad de forraje de los pastos es bajo por el aumentado de la temperatura, induciendo a que las concentraciones de tejidos de protección (lignina) de la planta se incremente (Garzón, 2011), estos, al ser consumidos por los animales, generan una menor eficiencia digestiva, por lo tanto una menor absorción de nutrientes y mayor producción de gas metano. De ahí que las diferencias entre forrajes de las diferentes regiones de nuestro país son muy importantes a la hora de diferenciar la cantidad de emisiones a partir de la ingesta consumida por el ganado bovino.

Las tierras bajas específicamente el departamento de Santa Cruz es donde se acentuó la producción lechera del país y los animales en producción consumen mayor cantidad de alimento ya que cumplen doble función (producción de carne y leche) razón por la cual se asevera, mayor incremento de emisión de gases de metano. Sin embargo, se observa también que hay incrementos de ganado por año en esta región. Una de las atribuciones por las que se observa el incremento ascendente cada año, es que históricamente se han tenido menor cantidad de razas de producción lechera, por lo que el productor ha estado introduciendo razas mejoradas en la producción de leche, incrementando así su población en el departamento de Santa Cruz (Romero, 2005; Osorio *et al.*, 2011).

Una de las partes destacadas del artículo de Chile, manifiesta que la administración de pequeñas cantidades de 3-nitrooxypropanol a la dieta de las vacas lecheras, mejora la eficiencia de su alimentación sin alterar la calidad de su carne y de su producción de leche, los rumiantes son animales que digieren los alimentos, mediante la fermentación que llevan a cabo los microorganismos presentes en el rumen, producen ácidos orgánicos, que son absorbidos y metabolizados por el organismo como fuente de energía y metano que se escapa a la atmosfera en forma de gas Yañez, 2014. Los científicos ya demostraron la efectividad de esta molécula pero desconocían su funcionamiento, las investigaciones realizadas in vitro mediante incubaciones de microorganismos anaeróbicos del aparato digestivo de los rumiantes revelaron

como el compuesto 3-nitrooxypropanol afectó solo a la población de microorganismos responsables de producir metano (arqueas metanogénicas) y no aquellas que contribuyen en la digestión (bacterias).

En Colombia dicha proyección de emisiones entéricas de metano de origen pecuario para el 2012 representó el 27.6% de participación de GEI, correspondiendo un 71% de emisiones entéricas del ganado lechero y productor de carne (IDEAM, *et al.*, 2015). En una investigación realizada por Johnson y Johnson (1995) encontraron que en sistemas de alta tecnificación la producción anual de metano en animales adultos se encuentra en un rango de 60 y 126 Kg. Otra investigación realizada aproximadamente 10 años después, indica que las emisiones anuales de metano por novillas de carne en pastoreo pueden encontrarse entre 32 y 83 kg y entre 60 y 95 kg para vacas ya adultas (IDEAM, *et al.*, 2015)

5.3.2. Ganado bovino joven.

La Figura 16 muestra la emisión del ganado bovino joven en las tres regiones, se advierte una tendencia de crecimiento ascendente de las mismas ya que presentan pendiente menores (2,23 de incremento poblacional bovina anual en tierras bajas 0,08 de valles y 0,03 de tierras altas) presentando un incremento muy bajo de emisión de gases de metano a la atmósfera en estas dos regiones.

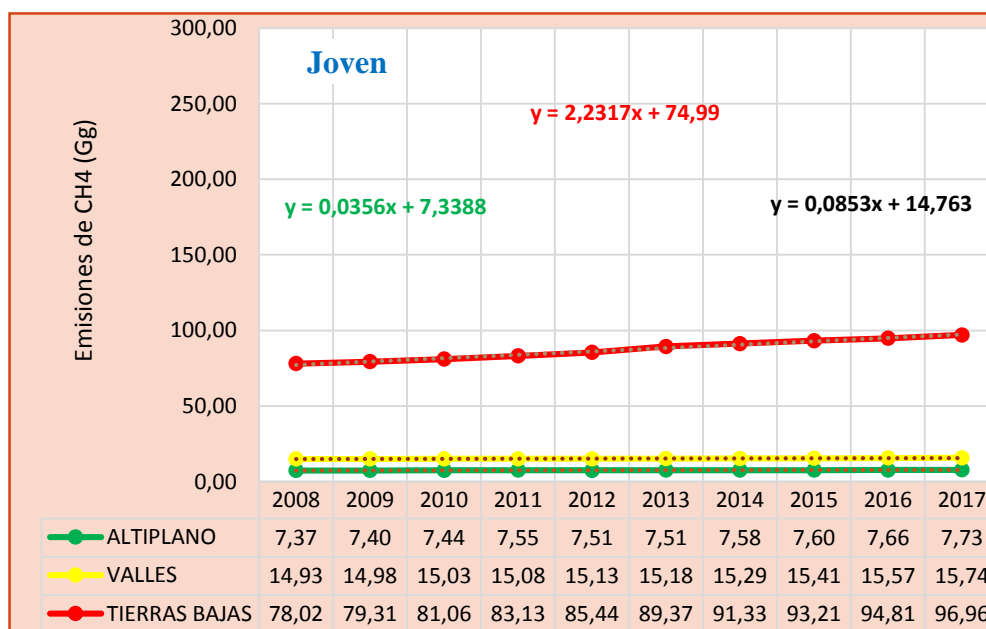


Figura 16. Estimación de emisión de gases de CH₄ provenientes de la fermentación entérica de la categoría joven.

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

Las regiones de tierras altas, valles y tierras bajas, demostraron una alta correlación entre la emisión de gas metano, el gas emitido de la población bovina joven por año, manifestando resultados que pueden ser influenciados por factores climáticos, piso ecológico, raza y alimentación que inducen la reducción de terneros por la mortandad causados por los efectos climáticos.

Este comportamiento de crecimiento progresivo de emisiones de gas metano en el ganado joven fue casi constante del 2008 al 2017 con bajos incrementos a diferencia, las tierras bajas presentaron variaciones de 78.02 Gg de CH₄ el 2008 hasta 96,96 Gg de CH₄ el 2017, se atribuye a bajo crecimiento de la población en las tres regiones, por el mismo hecho de los fenómenos que se suscitaron en los últimos años, provocó la pérdida de animales jóvenes por falta de alimentación y los daños estimulados por las inclemencias del tiempo presentando mayor mortandad en esta categoría. También se asevera que depende del buen manejo que el ganadero realiza con los animales, independientemente de las características del ecosistema.

Dependiendo de la región, la calidad nutricional de forrajes varía, lo cual genera que la digestibilidad del alimento también sea diferente. Así, la producción de metano estaría relacionada con la eficiencia de la utilización de energía en los alimentos, esto representa la energía alimenticia que no es aprovechada por el animal. Las dietas de baja digestibilidad emiten mayor cantidad de metano debido a una reducción en la eficiencia de la utilización del alimento. Bajo esta perspectiva, el ganado joven prefiere forraje más tierno, ya que además está sometido a una dieta de intervalos en el cual el forraje con alto contenido de lignina no es suministrado a este tipo de ganado.

La eliminación de metano vía eructo en el ganado inicia aproximadamente a los 20 días de vida, cuando los alimentos sólidos empiezan a ser retenidos en el retículo-rumen, iniciando la fermentación y la producción de gases (Johnson y Johnson, 1995). Teniendo así el 87% de la producción de metano en el rumen y 13% en el tracto digestivo posterior. De este último, aproximadamente el 89% es absorbido hacia la sangre y expirado a través de los pulmones. Estas emisiones de metano representan pérdidas de energía en el animal, que oscilan entre 5.5 - 6.5% del total de energía consumida en la dieta. Sin embargo, valores entre 2-12% se reportan en condiciones de pastoreo (Anderson y Rasmussen, 2003).

5.3.3. Ganado bovino no lechero.

La figura 17 muestra las emisiones del ganado no lechero en las tres regiones, las tierras bajas muestra una tendencia de 1,9 de crecimiento de emisión en el tiempo, son superiores a la de los valles y tierras altas lo que refleja que el aumento de emisión es bajo de 0,08 en los valles y 0,04 en las tierras altas.

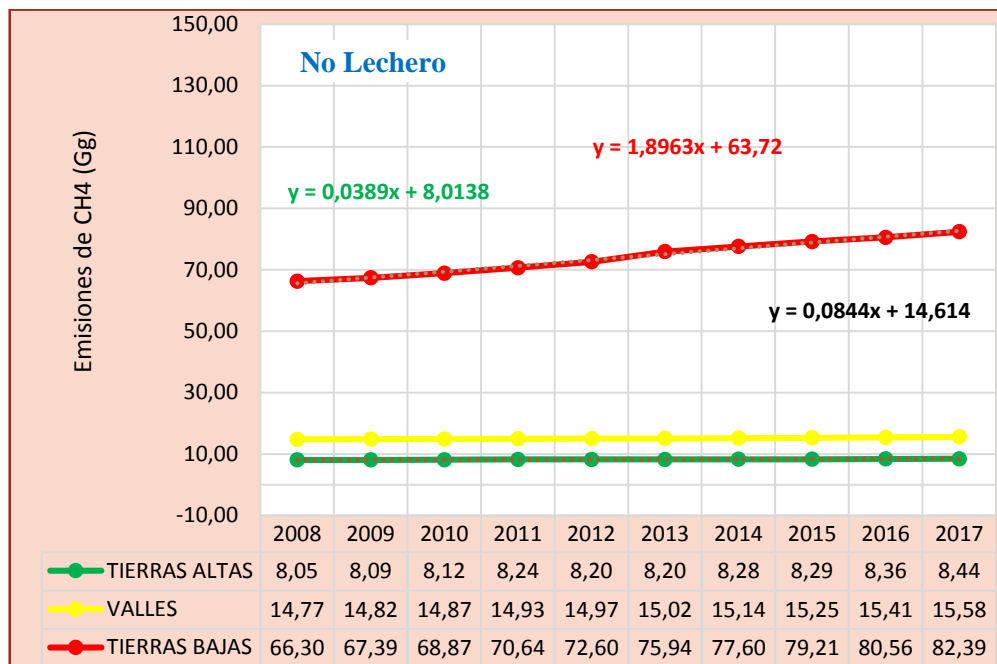


Figura 17. Emisiones del gas CH₄ provenientes de la fermentación entérica en la categoría no lechero.
Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017)

La población de ganado bovino no lechero revela la correspondencia en la región de tierras altas, valles y tierras bajas, de emisión de gases de metano emitido, es proporcional a la cantidad de animales presentes por cada año. En la región de tierras bajas existe mayor analogía entre variables, sobre todo responde a los factores climáticos como los eventos suscitados en las últimas gestiones, por consiguiente, la falta de alimentación y genética de los animales que causaron transformaciones en el normal desarrollo del organismo animal.

Aunque las emisiones del ganado no lechero son superiores, sus emisiones permanecen más o menos continuas en el tiempo en las regiones de tierras altas y valles. Estas pequeñas variaciones pueden estar ligadas a eventos localizados en las regiones como la sequía registrada del año 2016, en la región de las tierras bajas hubo un incremento gradual de 66,30 Gg/CH₄/año el 2008 a 82,39 Gg/CH₄/año el 2017, donde se registraron pérdidas de cabezas de ganado en el Chaco y otras áreas del país (EHP, 2016). Otra de las razones por las cuales las poblaciones de ganado

no lechero se ha mantenido, podría ser, una relación con la falta de especies forrajeras adecuadas para su alimentación.

En los últimos años, algunos empresarios incursionaron en la ganadería de tipo intensivo con una fuerte base en el desarrollo de la genética y el cruzamiento industrial. Como resultado se ha producido animales de gran calidad, reflejada en los altos niveles de productividad. La población en Santa Cruz es de 1,8 millones de animales, con un 13% de extracción, un 55% de nacimiento, contra un 8% de mortalidad y considerando la edad de faeneo de 36 a 40 meses de edad. Se puede decir que la ganadería tiene indicadores aceptables de producción, pero no suficiente como para poder alcanzar un desarrollo óptimo (FEGASACRUZ, 2015).

Así mismo, el ganado bovino no lechero que consume dietas basadas en ensilaje de maíz o raygrass, se caracterizan por tener hábitos de crecimiento conocidos como cizaña anual, a niveles de mantenimiento en este periodo, disminuyen sus emisiones de metano de un 39 y 22% con ensilaje de maíz y raygrass anual, por lo cual el porcentaje de energía bruta del alimento perdido como metano disminuye (Cambra *et al.*, 2008).

Por otro lado, Moss *et al.* (2000), mencionan que la población de bacterias metanogénicas en este periodo están en desarrollo controlado, sin embargo, de acuerdo al sistema de manejo implementado por el productor, puede ocurrir dos casos: a) que el ganado no lechero no necesariamente necesita la misma cantidad de forraje que en el periodo de crecimiento o de lactancia; y b) que las bacterias del sistema digestivo permanezcan en latencia o hayan disminuido; estas condiciones hacen que las emisiones de metano en esta categoría se mantengan en baja cantidad.

5.3.4. Ganado bovino bueyes.

La Figura 18 muestra las emisiones del ganado buey en las tres regiones, las tendencias de las pendientes son bajas de 0,01 en las tierras altas y 0,03 en los valles, en tierras bajas muestra de 0,29 que indica que el aumento de gases de metano es mínimo al ambiente por cada año y la analogía entre variables es inversamente proporcional.

Figura 18 muestra las emisiones de gas metano de la categoría de bueyes.

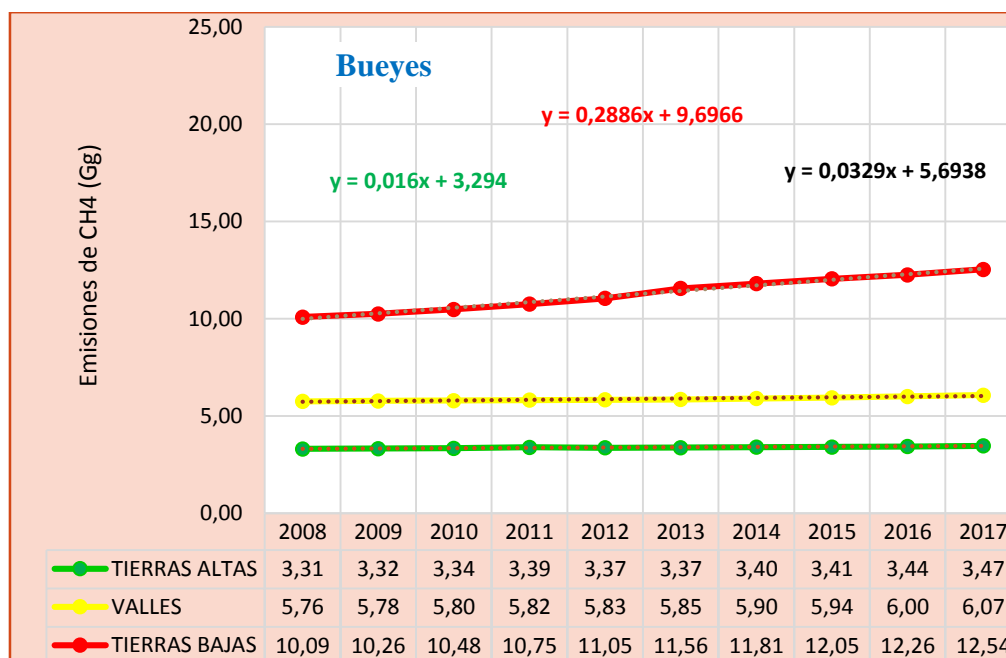


Figura 18. Emisiones del gas CH₄ provenientes de la fermentación entérica en la categoría bueyes.

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017)

Las mayores emisiones de esta categoría se han dado en tierras bajas, y muestra que la tendencia de crecimiento de emisión de gases de metano en el tiempo de 10,09 Gg de CH₄ el 2008, los posteriores años van en aumento registrando 12,54 Gg de CH₄ para el 2017, lo que muestra que en regiones bajas ha sufrido un fuerte impacto sobre la producción ganadera por año.

Según la figura refleja, una menor proporción de emisión en las tierras altas, en comparación de otras regiones, que podría deberse a la cantidad de alimento ingerido y cambios en los factores climatológicos del país, en relación a los anteriores años hubo un ascenso gradual, Con una pendiente negativa y existe la correlación entre variables, la investigación del inventario está dentro las reglas establecidas estadísticamente.

Teniendo así el 87% de la producción de metano en el rumen y 13% en el tracto digestivo posterior. De este último, aproximadamente el 89% es absorbido hacia la sangre y expirado a través de los pulmones. Estas emisiones de CH₄ representan pérdidas de energía en el animal, que oscilan entre 5.5 - 6.5% del total de energía total consumida en la dieta. Sin embargo, valores entre 2-12% se reportan en condiciones de pastoreo (Anderson y Rasmussen, 2003).

El mayor volumen de metano (87%) se produce en el rumen y es expulsado al ambiente por medio de eructos, el resto (13%) es producido en el colon, además las emisiones por rumiantes no solo representa un problema ambiental, sino también una pérdida de productividad, debido a una ineficiencia en el uso de la energía, la cual oscila entre 2 y 12% del consumo de energía bruta, dependiendo la calidad nutricional de la ración de buena a pobre respectivamente (Johnson *et al.*, 2000).

5.3.5. RELACION ENTRE EL PORCENTAJE, DE POBLACION Y EMISION DE GASES DE METANO POR REGIONES Y CATEGORÍAS.

5.3.5.1. Porcentaje de población y emisión en tierras altas de Bolivia.

La Figura 19 presenta el porcentaje de la población y emisión del ganado bovino en Bolivia, donde se observa la diferencia en la emisión de gases entre categorías, así el ganado joven cuenta con 37,8% de población y emite 21,3% de gas metano en la región alta, en comparación con la categoría lechera donde presenta 30,9% de población emite 46% de emisión de metano en la misma región, el buey y no lechero emiten en menor proporción en comparación al ganado lechero.

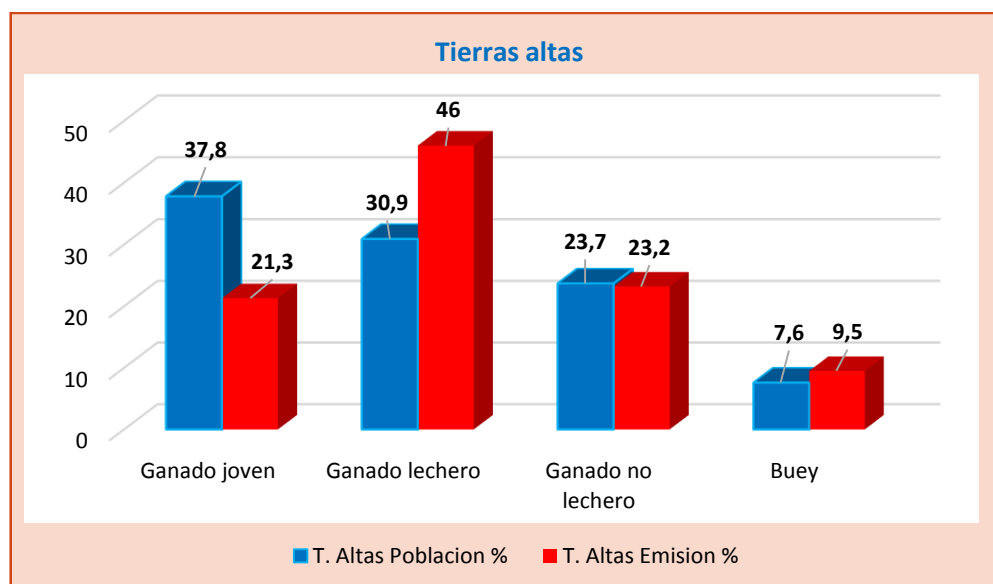


Figura 19. Porcentaje de población y emisión de gases de CH₄ del ganado bovino de Tierras altas de Bolivia

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

Como se puede observar en la figura, el número de población es diferente frente a las emisiones, el caso del ganado joven presenta mayor número de cabezas y emiten menor cantidad de emisión

de metano, sin embargo el ganado lechero presenta mayor emisión en menor población de ganado bovino. Se presume que el ganado bovino lechero produce mayor cantidad de gas metano, porque el consumo de alimento es mayor que en las otras categorías, para cumplir funciones diferentes que exigen su organismo, ocasionado por una pérdida de energía en el proceso metabólico, por una ineficiencia alimentación en la región sobre todo en épocas secas, y lo que transforma (carne y leche) todo esto provoca mayor emisión y mayor pérdida de energía. Las vacas lecheras pierden aproximadamente de 7,1% a 9,5% de energía durante la rumia (Medina, 2016), dependiendo del consumo de la calidad del forraje que tenga, se presume que por efectos del cambio climático, la calidad de forraje de los pastos ha bajado ya que la temperatura aumenta, induciendo a que las concentraciones de tejidos de protección (lignina) de la planta se incremente.

Las vacas como todos los herbívoros, son grandes productoras de gases de metano, el proceso por el cual la vaca digiere y aprovecha los nutrientes contenidos en el forraje que come a diario, libera gas metano que contribuye al nefasto efecto invernadero. Pero varios científicos aseguran que un cambio en su dieta pondría fin al problema.

La fermentación entérica del ganado vacuno representa una importante fuente de metano, gas que eliminan normalmente los rumiantes como producto de su proceso digestivo, ocasionando pérdida de energía, así mismo afectando en la producción de carne y leche del animal y contaminando la salud ambiental (Pinares et al., 2009; Jiao et al., 2013), la producción de metano depende de la calidad de la dieta, de las especies forrajeras nativas ya que son la base de la alimentación del ganado vacuno bajo condiciones de pastoreo, las mismas que presentan limitaciones desde el punto de vista nutricional y productivo (condicionadas por factores de orden climático).

5.3.5.2. Porcentaje de población y emisión en valles de Bolivia

Las regiones templadas como son los valles de Bolivia muestran datos, mayores poblaciones en comparación con las tierras altas, como se observa en la Figura 20, El ganado joven presenta mayor número de población bovina con 38,2% y emite 22% de gases de metano, muy diferente al ganado lechero que registra 32,3% de población y 47,7% de emisión, el buey presenta 6,8% de ganado bovino y 8,5% de emisión de metano.

Figura 20, porcentaje de emisión y porcentaje de población de ganado bovino.

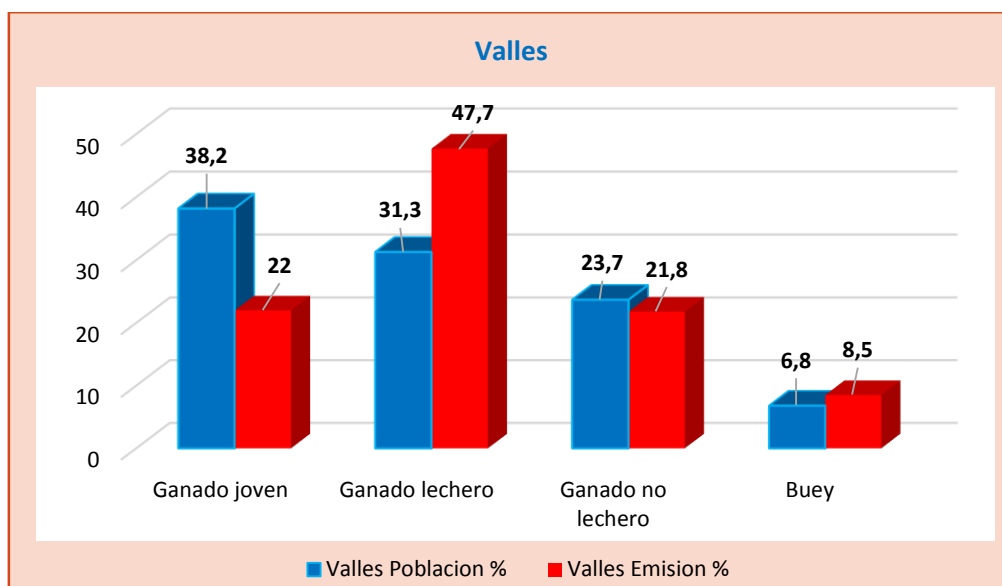


Figura 20. Porcentaje de población y emisión de gases de CH₄ del ganado bovino de los Valles de Bolivia

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

En esta región, la vegetación es más densa que en las tierras altas, por lo que favorece la crianza del ganado bovino, así mismo son afectados por factores ambientales que se presentaron en los últimos años, alterando en la producción y reproducción del ganado, sobre todo causando la reducción del ganado joven. El ganado bovino de bueyes muestra menor cantidad en población en comparación de las tierras altas, se podría presumir que esta categoría está seleccionada para el faeneo.

El ganado lechero es la más dependiente del forraje de campo, y al mismo tiempo el que mayormente aporta a las emisiones de metano. Las características de los forrajes presentes en los campos de pastoreo determinan las cantidades de emisiones de gases. El aumento de la edad de rebrote provoca cambios significativos en los componentes solubles, estructurales y la digestibilidad de los pastos, lo cual hace que su valor nutritivo disminuya con el avance de la edad, el cual promovería mayores tasas de emisión de metano, cuya tasa de reducción es mayor en las gramíneas que en las leguminosas (Sosa et al., 2016).

El aumento de las concentraciones de gases de metano, provocan el calentamiento de la superficie terrestre y la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera (Primavesi et al., 2004), las concentraciones atmosféricas de estos gases han aumentado debido a la actividad

humana, las tasas de acumulación de metano y dióxido de carbono en la atmósfera han cambiado drásticamente en los últimos años presentándose un incremento de forma exponencial. Estimaciones realizadas a través de modelos indican, para algunos escenarios de emisiones futuras, que antes de fin de siglo el aumento será del orden de 2 a 6 °C (IPCC 2007).

5.3.5.3. Porcentaje de población y emisión en las tierras bajas de Bolivia

La región de tierras bajas muestra 40,5% de población del ganado joven y emite 23,8% de metano a la atmósfera, contrariamente la categoría lechera presenta 33,1% de población y emite 52,9% de emisión de gases de metano, favorecidos por los factores ambientales de la zona; la población de bueyes en esta región, es más bajo en comparación a las otras regiones, presentando 2,6% en población y 3,1% de emisión de gases de metano (Figura 21).

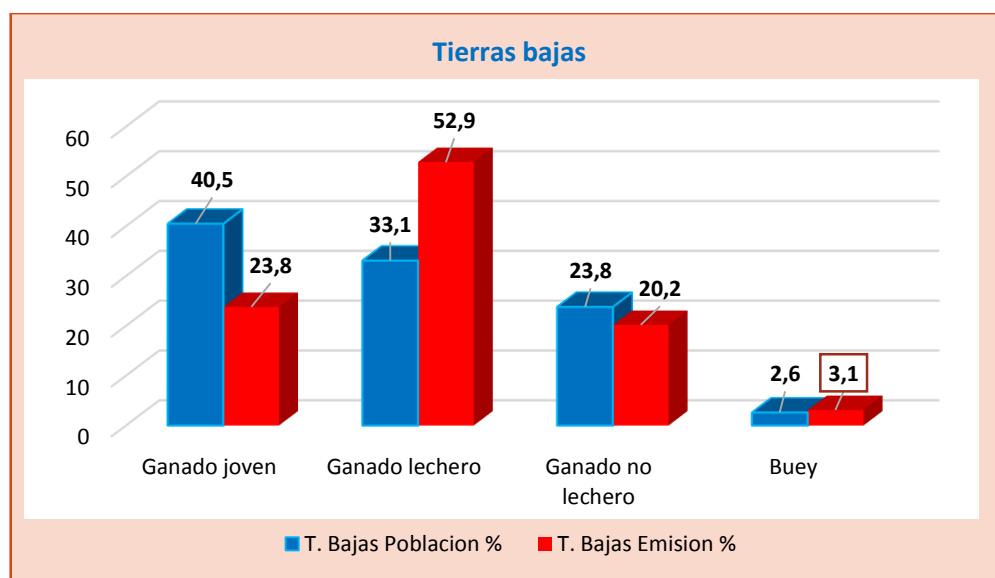


Figura 21. Porcentaje de población y emisión de gases de CH₄ del ganado bovino de Tierras bajas de Bolivia

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

Según muestra la Figura en las tierras bajas, el ganado bovino joven presenta mayor en población sin embargo la emisión manifiesta en menor proporción, podríamos deducir que el aprovechamiento de la alimentación en los terneros son más favorecidas fisiológicamente, para el desarrollo de su organismo, así mismo el alimento que se les ofrece es seleccionado y el suplemento de la leche materna ayuda en el metabolismo del animal.

Contrariamente el ganado lechero presenta datos inferiores en población y superiores en emisión de gases de metano en comparación a las demás categorías, por poseer climas cálidos y

precipitaciones constantes que favorecen la producción de forrajes y así aseguran la alimentación del ganado, en los últimos años los efectos del Niña y Niño causó con mayor énfasis en esta región provocando mayor número de mortandad del ganado vacuno, a causa del cambio climático, de ahí el bajo incremento anual de cabezas de ganado bovino.

Por otro lado, Hinojosa *et al.*, (2014) mencionan que la estacionalidad puede afectar el rendimiento de los forrajes y su calidad nutritiva, afectando por tanto las emisiones de metano, uno de los factores que limita la producción animal en los trópicos de América Latina es la escasa disponibilidad y la pobre calidad de los forrajes, por lo que es necesario utilizar alternativas combinadas como la utilización de pastos de corte en épocas de déficit forrajero, como complemento de la alimentación y su utilización diaria en cabañas de ganado élite. Esta combinación es necesaria para el ganado joven que necesita aumentar peso y el lechero que necesita incrementar su producción. Así, Carmona *et al.* (2005) reportan que la producción de metano en ganado alimentado con plantas C4, fue mayor que en los animales alimentados con otro tipo de plantas, y aun mayor que los alimentados con dieta alta en grano. Siendo este tipo de forrajes característicos de las zonas tropicales (gramíneas C4), la producción de metano es mayor y la utilización de la energía menor.

Las pasturas en el trópico, generalmente son de regular a baja calidad, por la cantidad de material lignocelulósico de poca digestibilidad y por los bajos tenores de otros nutrientes, principalmente proteína y carbohidratos solubles, que podrían beneficiar en la formación de gases de metano. Presentándose excepciones, donde algunas pasturas mejoradas y sometidas a programas de fertilización y manejo en general, permiten un mayor aporte de nutrientes y por ende un mejor comportamiento de los animales, menor emisión de gases, desde el punto de vista productivo, reproductivo y sanitario.

Johnson y Johnson, (2000) indican que los dos principales factores responsables de las variaciones en la producción de metano son: la cantidad de carbohidratos fermentados en el retículo-rumen, lo cual implica diversas interacciones dieta-animal, que afectan el balance entre las tasas de fermentación de estos carbohidratos y la tasa de pasaje. El otro mecanismo es la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, la cual regula la producción de hidrógeno y la subsecuente producción de metano.

5.4. ESTIMACIÓN DE EMISIÓN DE GASES DE METANO DEBIDAS AL MANEJO DE ESTIÉRCOL.

Las emisiones de gases de metano debidas al manejo de estiércol se generan por anaerobiosis producida por la descomposición de la materia orgánica. En Bolivia existen: a) a campo abierto, b) sistemas estabulados, c) sistemas semi estabulados y d) sistema de rotación de parcelas. Los sistemas que más generan metano son los que logran ser apilados en grandes promontorios, produciéndose en su interior un sistema anaeróbico. Estos sistemas difieren en su manejo de acuerdo a las regiones.

5.4.1. Región de Tierras altas.

Las emisiones del manejo de estiércol según el Cuadro 14 revelan bajo porcentaje en comparación a la fermentación entérica, manifestando datos constantes los años mencionados, que es inversamente proporcional entre variables, población entre emisión por año.

Cuadro 14. Estimación de emisiones de gases de metano por el manejo de estiércol en la región de las tierras altas de Bolivia

| Categoría | 2008 (Gg) | 2017 (Gg) | % |
|-------------------|-----------|-----------|------|
| Ganado Lechero | 0,15 | 0,15 | 44,9 |
| Ganado Joven | 0,05 | 0,05 | 16,0 |
| Ganado no lechero | 0,09 | 0,09 | 26,5 |
| buey | 0,04 | 0,04 | 12,6 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017)

Sin embargo el gas metano por la fermentación entérica aporta al medio ambiente como uno de los principales gases de efecto invernadero, su efecto negativo sobre el calentamiento del ambiente es mayor que el dióxido de carbono, en los últimos años la concentración e incremento de este gas ha ido incrementando según la gráfica, de manera importante. Esta región manifiesta que en las cuatro categorías registraron emisiones constantes del 2008 al 2017 como se observan en la Figura 22.

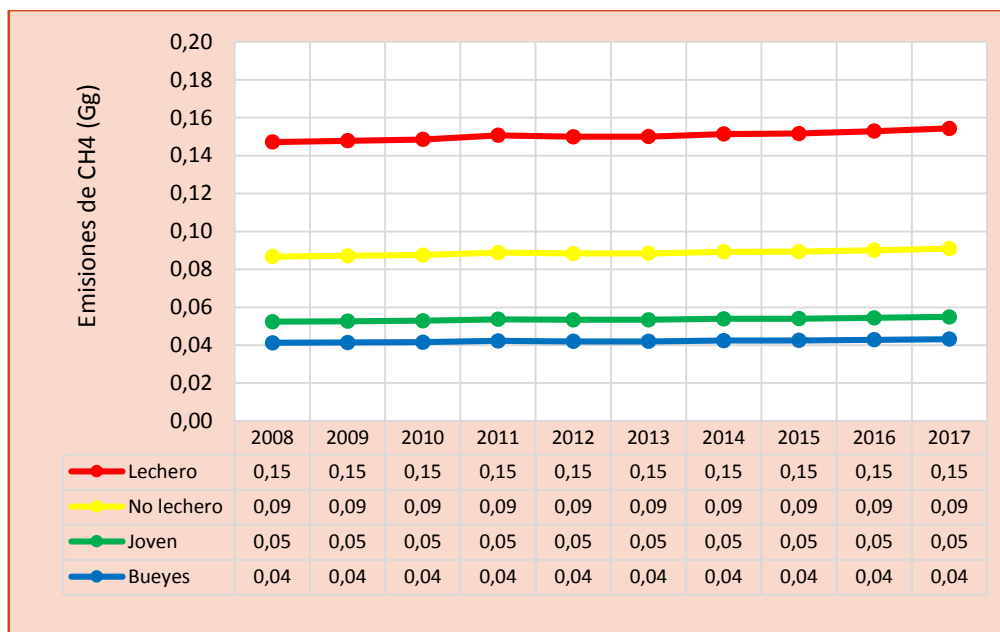


Figura 22. Estimación de emisión de gas CH₄ provenientes del manejo de estiércol en la región de Tierras altas de Bolivia

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

El estiércol después de la digestión anaeróbica puede usarse como fertilizante para mejorar la tierra en muchas partes del mundo. Muchos residuos orgánicos naturales pueden usarse en la digestión anaeróbica. En los países en vías de desarrollo, el substrato primario es el estiércol ganadero, pero pueden agregarse residuos agrícolas y la flora acuática en procesos de co-digestión para producir más gas. Sin embargo, estas materias primas no se han explorado completamente en los países en vías de desarrollo, además, las extremas condiciones medioambientales en algunas regiones pueden limitar la aplicación de la tecnología de digestión anaeróbica. El requerimiento de energía doméstica de la población rural del Altiplano podría satisfacerse si el estiércol de animales es usado para la producción de biogás en pequeños biodigestores. Sin embargo, las difíciles condiciones ambientales demandan sistemas o medios para aumentar la temperatura media en los digestores (Álvarez, 2012).

Las bajas emisiones de esta categoría tendrían un origen en las características del animal y las condiciones del ecosistema, las características del estiércol en tierras altas están condicionadas a las del forraje, las que contienen una gran cantidad de lignina, es decir, no solo son xerófitos, son también en una buena parte halófitos (la materia orgánica fresca es sometida a un proceso de transformación bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos) (Ticona, 2011); esto explica una cantidad similar de emisiones en todos los años. Consecuentemente, está

relacionado con el tipo de alimentación que el animal recibe, más aún en campo naturales de pastoreo en las que predomina gramíneas con alto contenido de lignina, es decir, muy fibrosas, en consecuencia se espera que su excreción también tenga gran cantidad de material no descompuesto, y por lo tanto, con gran porosidad, el cual evita que, en su almacenamiento, alcance rápidamente un estado de anaerobiosis; de hecho las bostas que son heces más altas, duras y de menor diámetro que la normal, generalmente se debe a la alimentación con alto contenido de fibra o falta de agua (Aquino, 2014).

Berra y Finster (2002) indican que cuando el estiércol se dispone en sistemas que promueven las condiciones anaeróbicas (por ejemplo, en forma líquida en lagunas, tanques o fosas), la descomposición de la materia tiende a producir metano. El mismo autor indica, que cuando el estiércol se maneja en forma sólida (por ejemplo, almacenamiento en pilas) o queda depositado sobre las pasturas y los campos naturales, tiende a descomponerse aeróbicamente y produce muy poco o nada de metano.

La disponibilidad de alimentos para el ganado, incide en la cantidad y calidad de estiércol, porque además los subproductos después de la digestión anaeróbica pueden usarse como fertilizante para mejorar los suelos en muchas partes del mundo. En Bolivia, el substrato primario como abono orgánico es el estiércol del ganado bovino, pero pueden agregarse residuos agrícolas y cultivos asociados con forrajes para producir más gas en el metabolismo del rumiante (Arana, 2004).

Es así que el autor corrobora con la información que, en los sistemas de manejo del estiércol, el metano se origina mediante la descomposición anaeróbica del estiércol, es decir, en las zonas donde existe acumulación de este elemento, el óxido nitroso se forma como parte del ciclo del nitrógeno, a través de la desnitrificación del nitrógeno orgánico presente en el estiércol y en la orina del ganado (Berra y Finster, 2002).

5.4.2. Región de Valles.

Las emisiones de gas metano por el manejo de estiércol de esta región muestran el Cuadro 15, manifestando un aumento en menor asenso de emisión por cada año, según en incremento de la población aumenta la emisión del gas.

Cuadro 15. Estimación de emisiones del gas metano por el manejo de estiércol en la región del valle de Bolivia

| Categoría | 2008 (Gg) | 2017 (Gg) | % |
|-------------------|-----------|-----------|------|
| Ganado Lechero | 0,56 | 0,59 | 52,8 |
| Ganado Joven | 0,20 | 0,21 | 18,8 |
| Ganado no lechero | 0,21 | 0,22 | 19,5 |
| buey | 0,09 | 0,10 | 8,9 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017)

El incremento de emisiones de gases de metano por manejo de estiércol, existe poca diferencia en el aumento, según se observa en la (Figura 23).

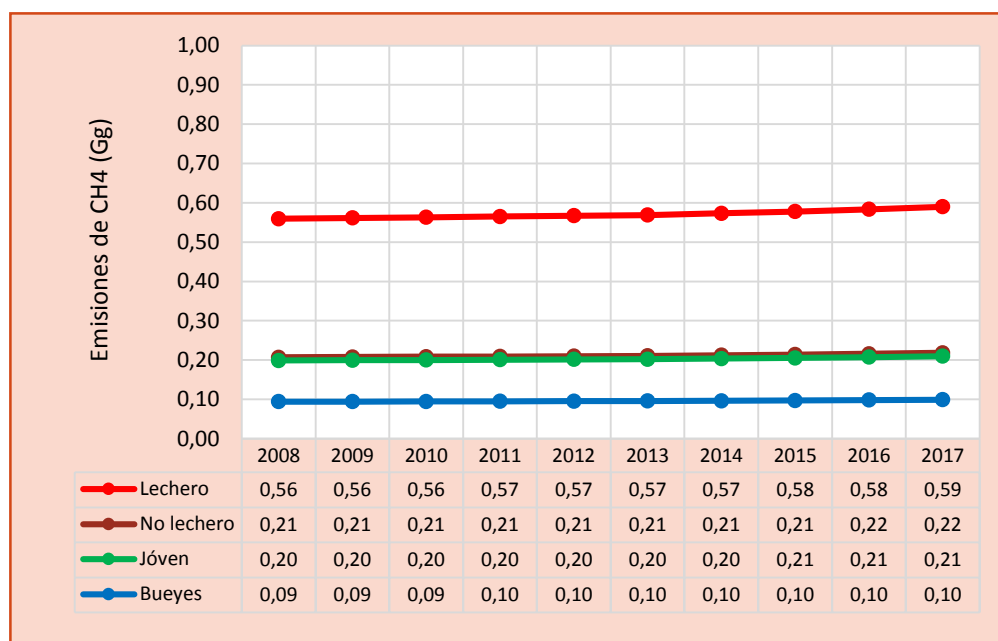


Figura 23. Estimación de emisión de gas CH₄ provenientes del manejo de estiércol en los Valles
Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017).

Las emisiones de manejo de estiércol registradas en esta región valles, son producto de las características de los ecosistemas y los tipos de forraje o alimentación que el animal consumió. Los valles son característicos por la producción de leche, la cual sería responsable directa o indirectamente (a través del estiércol) de una proporción relevante de las emisiones de metano (Bonilla y Lemus, 2012).

En la región de valles la alimentación de los bovinos determina el tipo de estiércol producido. Según Aquino (2014), dependiendo de la digestibilidad de la dieta, un hato de 5.000 cabezas puede producir entre 6.000 y 9.000 toneladas de estiércol anualmente. Un novillo de 450 kg

produce un promedio de 38 litros o 27 kg de excrementos húmedos (orina y heces) por día, con una variación del 25% dependiendo del clima, el consumo de agua y el tipo de dieta.

La reducción de la producción total de heces es el primer factor reductor de contaminación, sobre todo de producción de metano. Las dietas de baja fibra se caracterizan por digestibilidades mayores y menores emisiones. Según Briones *et al.* (2000) si una vaca consume 2 kg de MS por 100 kg de peso vivo en forma de hierba, los nutrientes proporcionados permiten sostener una muy baja producción de leche. Para lograr producciones altas, los animales deben consumir cerca de 3 kg de MS por 100 kg de peso vivo por día. Esto depende del apetito del animal, que es mayor en vacas de alta producción y de la disponibilidad de hierba tierna, que es más digerible y permanece menos tiempo en la panza (tiempo de retención menor), en la región de los valles se utiliza una alimentación combinada, que contienen nutrientes, en una forma más concentrada.

Cuando se da al bovino alimentos de fácil fermentación, como es el caso del concentrado, las bacterias van a formar rápidamente una gran cantidad de ácidos. Además, este concentrado al ser molido no ayuda a la capa estructural y por este motivo, no se estimula la rumia. Así, al no haber rumia, el animal traga menos saliva y la excesiva cantidad de ácido en la panza no se neutraliza; el contenido de esta se acidifica y si no se corrige rápidamente esta situación, la vaca puede morir. Según estos mismos autores, para prevenir este problema, se deben repartir las comidas de fácil fermentación en varias porciones bien distribuidas en el transcurso del día, en consecuencia, las emisiones de metanos serán de menor magnitud.

En la región de valles, la producción ganadera lechera es responsable directa o indirectamente, a través de la producción del estiércol, de una proporción relevante de las emisiones de metano debido a que en estas zonas es frecuente observar el almacenamiento de esta materia orgánica de una manera acumulativa, las temperaturas más altas y su formación de un sistema anaeróbico, existe una alta probabilidad de emisiones de este gas (Bonilla y Lemus, 2012).

La región templada del país, constituye la segunda en importancia a nivel nacional en las emisiones de manejo de estiércol, la ganadería lechera los últimos años se redujeron (55,3%) el 2017, probablemente por el fenómeno de la inundación del 2014 y la sequía del 2016. Datos que coinciden con los demostrados por la FAO, señala que el manejo de estiércol, procesamiento y distribución de los productos generados por el propio sistema, de los GEI emitidos a la atmosfera el 52% son en forma de metano entérico y manejo de estiércol, y el 30% son emitidos

a la atmosfera en forma de N₂O principalmente por la rápida volatilización de amonio presente en el estiércol y por el uso de fertilizantes nitrogenados (FAO, 2010).

5.4.3. Región de las tierras bajas.

El cuadro 16 presenta datos de emisiones de gases de metano por manejo de estiércol, como mayor emisor se observa en el ganado lechero.

Cuadro 16. Estimación de emisiones del gas metano por el manejo de estiércol en la región de las tierras bajas de Bolivia

| Categoría | 2008 (Gg) | 2017 (Gg) | Porcentaje |
|-------------------|-----------|-----------|------------|
| Ganado Lechero | 5,34 | 6,63 | 60,9 |
| Ganado Joven | 1,85 | 2,29 | 21,0 |
| Ganado no lechero | 1,34 | 1,67 | 15,3 |
| buey | 0,24 | 0,30 | 2,7 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017)

La Figura 24 refleja la emisión de metano por manejo de estiércol en las regiones bajas.

Las emisiones más importantes de esta región, se debieron principalmente a las realizadas por el ganado lechero con 5,34 Gg de CH₄ el 2008, posteriormente se incrementó a 6,63 Gg de CH₄ el 2017, valores poco inferiores con los datos encontrados en la República de Argentina con un aporte del 66.78% al total de las emisiones del sector, a partir de la volatilización y lixiviación el metano contenido en las heces y la orina del ganado (10.39%) (Gadea, 2015).

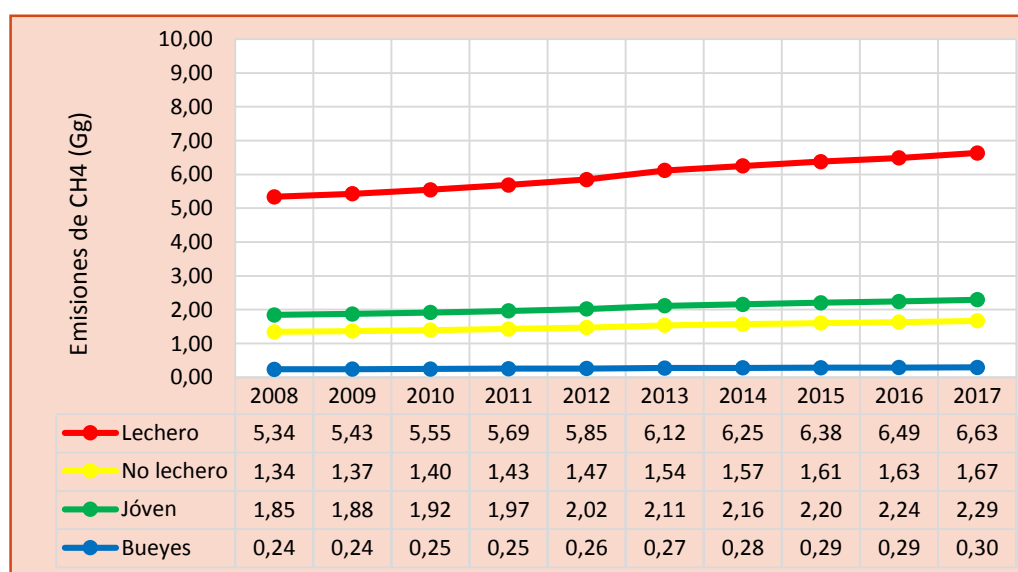


Figura 24. Emisiones de gas CH₄ provenientes del manejo de estiércol en las tierras bajas de Bolivia.

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017)

Esta predominancia sea posiblemente al tipo de alimentación que recibe este ganado, basada sobre todo en sistemas estabulados combinados con pastoreo a campo abierto (Barrero, 2003).

El ganado lechero es el mayor aportante de gas metano en las tres regiones ya que esta categoría consume mayor que las otras categorías, por las exigencias fisiológicas de su organismo, como es de producir leche y carne, en Bolivia existen departamentos que han apostado a la producción de leche de vaca, no solo como una fuente de ingreso y desarrollo económico, sino también como una forma de proveer productos de la canasta familiar. La producción de estos departamentos ha logrado que en Bolivia aproximadamente 104.043 vacas en producción produzcan diariamente alrededor de 810.950 litros de leche cruda (295'996.858 litros/año). El departamento de Santa Cruz se constituye en el mayor productor de leche cruda a nivel nacional (alrededor del 62% del total), seguido de Cochabamba (alrededor de 22.5% del total) y La Paz (5.97% del total); los restantes 9.5% corresponderían a los departamentos de Oruro (3.20%), Chuquisaca (2.37%), Tarija (2.10%) y Beni (1.87%) (Romero, 2007).

Al respecto Roda (2015), indica que Santa Cruz es primer productor de leche en Bolivia, cubre el 67% de la producción nacional con perspectivas a ser ampliamente los mayores productores lo que se está viendo acá es inversión en genética tecnología en avances en las lecherías que son importantes, por ser lecheros de primer mundo con controles muy precisos de forma electrónica, transmitida por chip de los animales

Como segundo emisor, está el ganado joven, cada año fluctúa en menor proporción, el año 2017 emitió 1,85 Gg/CH₄/año, se presume por presencia de los fenómenos, para reducir el gasto de energía en forma de metano en heces y orina se puede ofrecer raciones de calidad e incrementando las cantidades de almidón y lípido en la dieta en hatos pequeños.

En sistemas cálidos, (Tierras Bajas), el volumen y calidad de estiércol producido por animal depende fundamentalmente de su peso, edad y tipo de alimentación. A partir de esta premisa, la emisión de metano son relativamente altos por esta característica, ya que los sólidos totales contenidos en el estiércol representan la cantidad real de materia orgánica presente en el mismo. Los sólidos volátiles representan la porción de sólidos totales que pasan a la fase gaseosa, es decir, la materia orgánica susceptible de ser convertida en metano (Alessandretti, 2011). Al respecto Moreno y Molina (2007) opinan la producción diaria de estiércol de una vaca en ordeño es de 7 a 10%, con respecto al peso vivo del vacuno en zonas cálidas; sin embargo, Salazar

(2012) observa que la cantidad de estiércol depende de la raza, peso vivo, alimentación, la ingesta de agua y condiciones atmosféricas (calor o frío) en las que se encuentra el animal. No podemos dejar de tomar en cuenta que los principales catalizadores del origen del metano en fuentes de almacenamiento de estiércol en zonas cálidas están influenciados por la temperatura, el tiempo de almacenamiento y el medio en el que se desarrolla la gestión (IPCC, 2006). En consecuencia, los principales factores que inciden en las emisiones de CH₄ corresponden a la producción de estiércol por animal y a la porción que se descompone anaeróticamente. Cuando el estiércol se almacena o procesa en forma líquida como biol (por ejemplo, en lagunas, estanques, tanques purineros), se descompone anaeróticamente y puede producir cantidades significativas de CH₄ que se dirigen a la atmósfera. En todo caso, este tipo de almacenamiento sería una de las causas para el incremento de las emisiones de metano en esta región.

Por otro lado, existen también prácticas de almacenamiento que reducen las emisiones como son los compostajes. En las trincheras o pilas de acumulación del estiércol fuera de los corrales puede promoverse la producción de compost, en ese caso, será necesario mantener las condiciones de aireación y humedad adecuadas (Aquino, 2014).

5.5. ESTIMACIÓN DE EMISIONES TOTALES PROVENIENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA Y MANEJO DE ESTIÉRCOL DEL GANADO BOVINO 2008 - 2017.

5.5.1. Estimación de emisiones totales provenientes de la ganadería bovina.

El Cuadro 17 estima las emisiones totales de gases de metano por fermentación entérica y manejo de estiércol en Bolivia, fue de 4.826,9 Gg de metano en las tres regiones del país.

Cuadro 17. Emisiones totales por fermentación entérica y manejo de estiércol

| Emisiones Totales del gas metano por fermentación entérica y manejo de estiércol (Gg) 2008 - 2017 | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Región | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Total |
| Tierras Altas | 35,02 | 35,1 | 35,3 | 35,8 | 35,8 | 35,8 | 36 | 36,1 | 36,3 | 37 | 358,2 |
| Valles | 68,9 | 71,1 | 69,3 | 69,6 | 69,8 | 70,1 | 70,5 | 71,1 | 71,8 | 72,5 | 704,7 |
| Tierras Bajas | 338,2 | 445,2 | 349,9 | 358,8 | 359,1 | 385,8 | 394,3 | 402,5 | 409,5 | 418,6 | 3.861,9 |
| Totales | 440,7 | 446,6 | 454,1 | 464,3 | 474,2 | 491,6 | 500,7 | 509,5 | 517,4 | 527,8 | 4.826,9 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017)

El Cuadro anterior demuestra que los mayores aportantes de las mismas fueron las regiones bajas con 3.861,9 Gg de CH₄, del 2008 al 2017, debido a que principalmente en esta región se concentra la mayor población del ganado bovino, como se observa en la Figura 25.

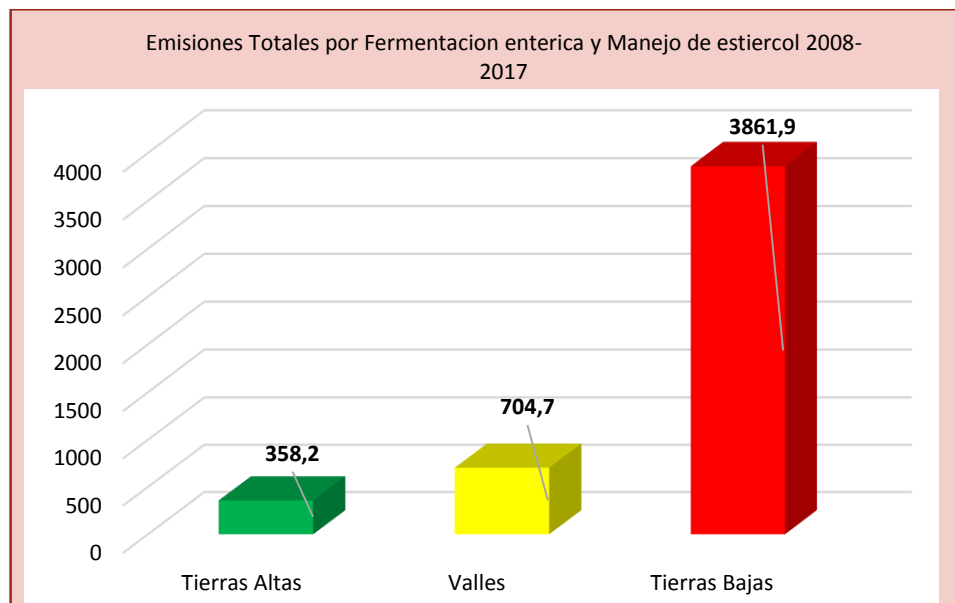


Figura 25. Estimación de emisiones totales de gas CH₄ provenientes de la fermentación entérica y manejo de estiércol en las tres regiones de Bolivia del 2008 - 2017

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017).

Los resultados, arrojados de la estimación de emisiones totales de gas metano en Bolivia muestran grandes diferencias significativas entre pisos ecológicos, presentando como mayor participante las regiones bajas de las cuatro categorías con 3.861,9 Gg de CH₄. Realizando una comparación con nuestro vecino país Colombia, Buddle *et al.* (2011) indican que la emisión de metano de origen pecuario de este estado para el 2010 reportó el 70% de participación correspondiendo un 95 %, las emisiones entéricas del ganado lechero y productor de carne.

Utilizando la metodología Nivel-2 del IPCC, la emisión de metano proveniente de la ganadería bovina en Bolivia, representa un incremento del 19% respecto al 2017, las proyecciones totales de las emisiones de gases de metano, proveniente de la fermentación entérica y manejo de estiércol fue 4.826,9 Gg de CH₄ de los años 2008 al 2017. Así mismo la investigación realizada de las emisiones del ganado bovino en Ecuador en un periodo de estudio de 10 años presenta, considerablemente elevada para el caso de fermentación entérica con 287.724 Gg de CH₄, mientras que para el estiércol muestra de 7.217 Gg de CH₄, (Luque, 2010) valores superiores en

comparación a los datos obtenidos en Bolivia, por lo que se evidencia que las emisiones de gases de metano en Bolivia son reducidas en el contexto sudamericano.

Por otra parte la región más importante en las emisiones de Bolivia, se observan en las regiones bajas, demostrando un promedio de 38,62 Gg de CH₄ año, se acepta la hipótesis planteada de que existe un aumento en las emisiones de metano. Contrariamente la estimación del inventario de emisiones de metano entérico de ganado lechero en Colombia registró 329.710 cabezas y una emisión promedio de 53,38 Gg de CH₄ año, valores superiores que Bolivia (Carmona, 2005).

Al mismo tiempo los datos de la republica de Perú, presentan altas emisiones, proveniente del ganado bovino, bajo sistemas de pastoreo, es explicado por la pobre calidad del forraje (pasturas nativas alto andinas) en muchos casos limita los sistemas de producción, debido a las condiciones medioambientales desfavorables, como la baja eficiencia de manejo de nutrientes para producir carne o leche. En ese sentido se han planteado algunas estrategias que ayudan a mejorar el uso de alimentos y por lo tanto a la reducción de la emisión de CH₄ como son: mejorar la calidad de pasturas (pastos cultivados, fertilización, etc.) incremento en uso de carbohidratos de alta fermentabilidad (granos, melaza), tratamiento físico de forrajes, tratamiento con urea y minerales a dietas de baja calidad y uso de compuestos modificadores del medio ambiente ruminal (Flores *et al.*, 2006)

En México los avances en la estimación de los factores de emisión y los inventarios han sido limitados, sin duda es el más rezagado de los grandes países ganaderos de la región, los pocos trabajos que existen están basados en estudios *in vitro* (Castelán et al., 2013), estos últimos autores estiman que el metano producido por los 32 millones de cabezas de ganado en México está cerca de dos tera gramos.

La población animal así como su distribución geográfica fueron consideradas para este propósito usando información del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras MDRyT, Información del Observatorio Agroambiental Productivo (OAP).

5.5.2. Estimación de emisiones totales de gases de metano por fermentación entérica

El cuadro 18 muestra los resultados de las emisiones totales de la fermentación entérica, donde indica que las emisiones van de forma progresiva, con una diferencia mínima, presentando un total de 4.707,8 Gg de CH₄ del 2008 al 2017.

Cuadro 18. Emisiones totales por fermentación entérica 2008 – 2017

| Emisiones Totales del gas metano por fermentación entérica (Gg) 2008 - 2017 | | | | | | | | | | | Gg |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|
| Región | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Total |
| Tierras Altas | 34,7 | 34,8 | 35 | 35,5 | 35,3 | 35,3 | 35,7 | 35,7 | 36 | 36,3 | 354,7 |
| Valles | 67,8 | 70 | 68,2 | 68,5 | 68,7 | 69 | 69,4 | 70 | 70,7 | 71,4 | 693,7 |
| Tierras Bajas | 328 | 333,5 | 340,8 | 349,5 | 359,2 | 375,8 | 384 | 392 | 398,6 | 407,7 | 3659,4 |
| Totales | 430,5 | 436,3 | 444 | 453,5 | 463,2 | 480,1 | 489 | 497,6 | 505,3 | 515,4 | 4707,8 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017)

La Figura 26 refleja las emisiones de gases de metano provenientes de fermentación entérica de 2008 al 2017 por regiones.

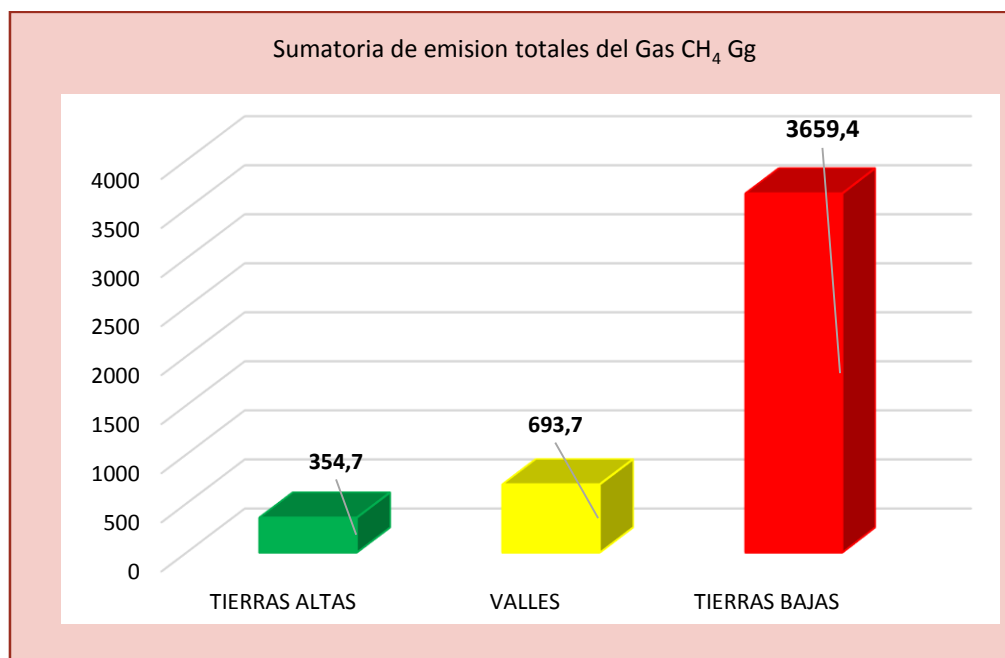


Figura 26. Estimaciones totales de emisión de gases de CH₄ provenientes de la fermentación entérica en las tres regiones de Bolivia.

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017).

De acuerdo a lo expuesto la Figura muestra que la región de las tierras bajas es más importante en las emisiones de gas metano, presentando 3.659,4 Gg de CH₄, seguido de la región del valle con 693,7 Gg de CH₄. Como indican Buddle *et al.* (2011), Jonker *et al.* (2017), la emisión de metano está estrechamente relacionada al consumo de materia seca, por ello la mayor oferta forrajera observada durante la época lluviosa fue un factor determinante, dado que la mayor disponibilidad aumenta las emisiones totales de metano como resultado de un incremento en el consumo (Muñoz *et al.*, 2015) reportan una emisión diaria promedio de 323 y 349 g/vaca/día, en vacas lecheras Holstein al pastoreo de ryegrass perenne, valor muy similar al obtenido en el presente estudio para la época lluviosa, con suplementación de un kilogramo de concentrado.

Por otro lado, Hinojosa *et al.*, (2014) mencionan que la estacionalidad puede afectar el rendimiento de los forrajes y su calidad nutritiva y por tanto las emisiones de metano, uno de los factores que limita la producción animal en los trópicos de América Latina es la escasa disponibilidad y la baja calidad de forrajes, por lo que es necesario utilizar alternativas combinadas, recurrir a pastos de corte en épocas de déficit forrajero, como complemento de la alimentación y el uso diario en cabañas de ganado de élite. Esta combinación es necesaria para el ganado joven que necesita aumentar peso y el lechero que necesita incrementar su producción. Así, Carmona *et al.*, (2005) reportan que la producción de gases de metano en ganado alimentado con plantas C₄ fue mayor, que en los animales alimentados con otro tipo de plantas, y aun mayor que los alimentados con dieta alta en grano. Siendo este tipo de forrajes característicos de las zonas tropicales (gramíneas C₄), la producción de metano es mayor y el uso de energía es menor.

5.5.3. Estimación de emisiones totales de gases de metano debidas al manejo de estiércol.

Los resultados totales por el manejo de estiércol, presenta 112,22 Gg de CH₄ del 2008 al 2017. Como refleja el Cuadro 19, tiene una diferencia mínima la región de tierras altas y una constante en los valles, las regiones bajas presentan un incremento gradual de menor ritmo.

Cuadro 19. Emisiones totales por manejo de estiércol 2008 – 2017.

| Emisiones Totales del gas metano por manejo de estiércol (Gg) 2008 - 2017 | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Región | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Total |
| Tierras Altas | 0,32 | 0,33 | 0,33 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 3,36 |
| Valles | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 11 |
| Tierras Bajas | 8,8 | 8,9 | 9,11 | 9,3 | 9,6 | 10 | 10,3 | 10,5 | 10,7 | 11 | 98,21 |
| Totales | 10,22 | 10,33 | 10,54 | 10,74 | 11,04 | 11,44 | 11,74 | 11,94 | 12,14 | 12,44 | 112,57 |

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (información de OAP, 2017)

Al respecto, la figura 27 muestra la diferencia de estimación de emisión, en las regiones del país, presentando como mayor en importancia las regiones bajas a nivel nacional.

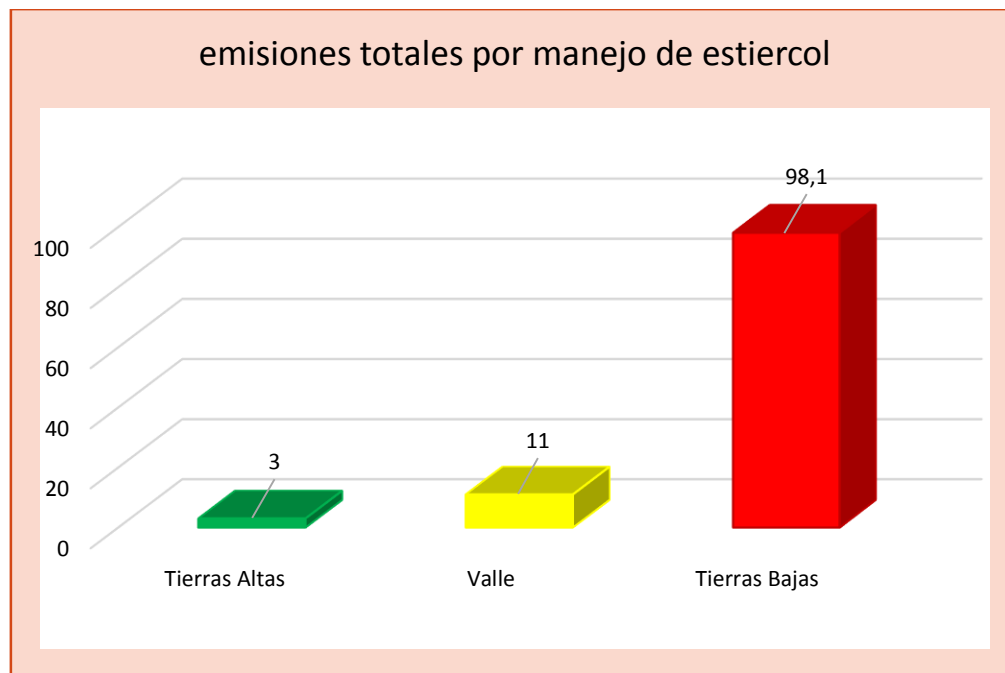


Figura 27. Emisiones del gas CH₄ provenientes del manejo de estiércol en las tres regiones de Bolivia.

Fuente: Elaboración propia en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017).

La presente figura refleja las emisiones más importantes de las regiones bajas, debidas al manejo de estiércol con 8,8 Gg de CH₄ el 2008 y 11 Gg el 2017. El promedio anual de los resultado obtenido de emisiones fue de 9,8 Gg de CH₄ año. Comparando los resultados con países vecinos, está muy por debajo de los valores alcanzados de Perú, con 13,7 Gg año, representando un incremento del 22% en Puno y Cajamarca. (Flores *et al.*, 2006), atribuye que la fermentación de la proteína produce de 30 a 50% menos metano que la fermentación de los carbohidratos.

Las emisiones de metano se generan por la descomposición de la materia orgánica, bajo condiciones anaeróbicas, en las regiones bajas se acumulan en pilas donde se volatilizan por la ayuda del medio ambiente, para luego ser aplicado al suelo como materia orgánica. El manejo de estiércol más común son el almacenamiento en sólido, y los depositados en pasturas durante el pastoreo, son de carácter extensivo, el comportamiento de las emisiones se muestra similares a las entéricas, aunque esta región es menor sensible a las variaciones climáticas en comparación a las Tierras Altas.

Los sólidos volátiles organizan el material orgánico del estiércol animal y constituyen en fracciones tanto biodegradables como no biodegradables. Los valores de emisiones de gases de metano generados por el manejo de estiércol, son considerablemente inferior a los generados por fermentación entérica, manteniendo un promedio de emisión anual 11.2 de CH₄ y un total durante el periodo de estudio de 112,22Gg.

En cuanto a emisiones de gases de metano, Bolivia emite menor porcentaje en comparación de los países latinoamericanos, posiblemente Argentina tendría bajo porcentaje en emisión de GEI por que practican sistemas confinados, crían animales estabulados lo que permite el control de sanidad y nutrición animal. Sin embargo Brasil es un país que acoge la gran mayoría en población de vacuno, realizan manejo en sistemas de pastoreo a campo abierto, la emisión se concentra en mayor proporción en la zona.

5.6. INCERTIDUMBRE POR DATOS DE ACTIVIDAD.

Se realizó las estimaciones de incertidumbres a fin de que esta información asevere la exactitud de los resultados y mejore las estimaciones de los inventarios futuros.

Para el cálculo de las incertidumbres, de acuerdo al grado 2 de la metodología se utilizó la matriz descrita en la Guía de Buenas Prácticas del (IPCC, 2000), en la cual se toman en cuenta la calidad de los datos de actividad y estimaciones de incertidumbres de los mismos.

5.6.1. Estimación de incertidumbre

La incertidumbre fue determinada através del análisis de sensibilidad de la emisión de metano por fermentación entérica y manejo de estiércol, para lo cual se utilizó la matriz descrita en la Guía de Buenas Prácticas del (IPCC, 2000), emisión de gases por la mayor concentración de la población ganadera bovina, así mismo tipo de ingesta y el piso ecológico en el que se encuentra el animal, determina la cantidad de gases de metano emitido a la atmósfera.

El cuadro 20 manifiesta el promedio de incertidumbre y la incertidumbre en las tendencias, con una tendencia de 17,01 de fermentación entérica y 2,78 del manejo de estiércol.

Cuadro 20. Incertidumbres en las emisiones del gas metano en la fermentación entérica y manejo de estiércol para los años 2010 - 2017

| Regiones | Metano (CH ₄) | Promedio de incertidumbre combinada % (GxD)/ΣD, 2010 | Incertidumbre en las tendencias de emisiones nacionales totales: $\sqrt{K^2+L^2}$. | Promedio incertidumbre combinada % (GxD)/ΣD, 2013 | Incertidumbre en las tendencias de emisiones nacionales totales: $\sqrt{K^2+L^2}$. | Promedio incertidumbre combinada % (GxD)/ΣD, 2017 | Incertidumbre en las tendencias de emisiones nacionales totales: $\sqrt{K^2+L^2}$. |
|-----------------|---------------------------|--|---|---|---|---|---|
| Tierras altas | Fermentación entérica | 6,23 | 6,79 | 6,23 | 6,83 | 6,23 | 6,92 |
| | Manejo de estiércol | 0,61 | 0,66 | 0,61 | 0,66 | 0,61 | 0,67 |
| Región templada | Fermentación entérica | 7,71 | 7,75 | 7,71 | 7,78 | 7,74 | 7,93 |
| | Manejo de estiércol | 0,96 | 0,97 | 0,96 | 0,97 | 0,97 | 0,99 |
| Tierras bajas | Fermentación entérica | 16,40 | 15,49 | 17,14 | 16,29 | 17,60 | 17,01 |
| | Manejo de estiércol | 2,68 | 2,53 | 2,80 | 2,66 | 2,88 | 2,78 |
| Totales | | 19,385 | 18,809 | 20,028 | 19,523 | 20,448 | 20,227 |

Notación: FE Fermentación entérica; ME: Manejo de estiércol; C: Promedio de incertidumbre combinada % (GxD)/ΣD, 2009; T: Incertidumbre en las tendencias de emisiones nacionales totales: $\sqrt{K^2+L^2}$; PC: Promedio incertidumbre combinada % (GxD)/ΣD, 2013; TN: Incertidumbre en las tendencias de emisiones nacionales totales: $\sqrt{K^2+L^2}$; IC: Promedio incertidumbre combinada % (GxD)/ΣD, 2017; To: las tendencias de emisiones nacionales totales: $\sqrt{K^2+L^2}$.

Fuente: Elaboración en base a MDRyT, (Información de OAP, 2017).

La mayor fuente de incertidumbres fué la región de las tierras bajas, demostrando un promedio de incertidumbre combinada el 2010 de la fermentación entérica de 16,40% y el manejo de estiércol 2,68%, la incertidumbre de las tendencias de emisiones nacionales fue 15,49 y manejo de estiércol 2,53. El 2017 registró 17,60% y 2,88% de manejo de estiércol. Aunque en esta región expresa mayor incertidumbre sin embargo estos valores están dentro los rangos establecidos por las leyes según (IPCC, 2000), que muestra la calidad de las estimaciones realizadas y en los casos particulares de ciertos factores de emisión o datos de actividad.

La incertidumbre en tendencias para el año 2000 alcanza a 7,53 % para emisiones de metano y haciendo un total combinado de 8,73%. Esto indica que actualmente la incertidumbre es mayor en comparación al año 2000 (García *et al.*, 2004). De acuerdo a los datos reflejados se puede atribuir que estos valores están relacionados con la densidad de población de ganado bovino, que posiblemente hubo una relativa estabilidad poblacional de ganado entre los años 2008 a

2017 lo que indica que la diferencia es mínima, no significativa. En cuanto al manejo de estiércol no se encontraron datos referenciales, sin embargo se puede indicar que la variación también es mínima que no supera el rango del 1% entre los años 2008 al 2017 según inventario actual.

A continuación se describen los valores totales de la incertidumbre combinada para el año 2010 registró de 19,385% y la de tendencias de emisiones nacionales totales fueron 18,809; para el 2013 registró 20,028 lo que no hubo mucha diferencia en comparación del 2010, las totales fueron de 19,523. Para el 2017 se observa un valor de 20,448% y 20,227 de manejo de estiércol, con los datos que fueron registrados se puede intuir que del 2010 a 2017 hubo ligero incremento de incertidumbre. Se debe considerar que los valores de las incertidumbres calculados por categoría para el ganado bovino, representa la mayor parte de la región de las tierras bajas, valores que están dentro del rango permitido según (IPCC, 2001).

Estos resultados manifiestan la relación con la densidad poblacional del ganado bovino, al cambio de los factores climáticos y gestión de riesgos ambientales, lo que indica que es aceptable por que está dentro el rango estadístico (tomando en cuenta que las incertidumbres globales están aceptadas entre 35 y 38%, según las guías de Buenas Practicas del IPCC, 2001), y el valor muestra una disminución de la incertidumbre debido a que los datos de la actividad, incide con una reducción de la probabilidad del error.

Considerando que los valores de los datos de actividad utilizados para este cálculo son con muy poca diferencia tanto para el cálculo de los factores de emisión de fermentación entérica como para el manejo de estiércol, se obtiene un valor inferior respecto a las incertidumbres de las emisiones en ambas fuentes, con factores de emisión recomendados por el IPCC. Se debe mencionar que, los cálculos de emisiones desarrollados representan la mayor parte de las emisiones totales para ambas fuentes.

La incertidumbre del presente trabajo de investigación en Bolivia proviene de dos fuentes, que son los datos de actividad y factores de emisión, los cuales también inciden en las tendencias y comportamientos, como se observa en el cuadro anterior.

El comportamiento de las emisiones de metano de la fermentación entérica y manejo de estiércol del país durante el periodo 2008 – 2017 fue irregular, principalmente los últimos años de esta década, este comportamiento, en general muestra que entre 2013 y 2017 existe un crecimiento sostenido del nivel de emisiones de GEI.

6. CONCLUSIONES.

Por los resultados obtenidos en el presente inventario se establecen las siguientes conclusiones:

- De las cuatro categorías de ganado en estudio, se ha establecido que el ganado bovino joven, tuvo mayor población en las tres regiones; con 40,5% en las tierras bajas, 38,2% en los valles y 37,8% en las tierras altas. En segundo lugar de crecimiento poblacional se encuentra el ganado lechero con 33,1% en las tierras bajas y 31,3 en valles, 30,9 en las tierras altas, seguido del ganado no lechero con 23,8% en las tres regiones; a pesar de las inundaciones del 2014 y las fuertes sequías del 2016 estas categorías aumentaron en la población en menor ritmo en comparación a los anteriores años.
- La categoría de ganado bovino buey registró una reducción en las tres regiones, debido a las inclemencias del tiempo que se suscitaron en los últimos cuatro años, (2014 - 2017), como es el fenómeno del Niña y la Niño, lo cual afectó en la producción del forraje y el desarrollo de la población ganadera.
- La región de las tierras bajas es la que desarrolló mayor número de cabezas de ganado bovino, razón por la cual la estimación de emisión de gases de metano por fermentación entérica fue mayor: La categoría lechera, registró 215,78 Gg de CH₄, el ganado joven con 96,96 Gg de CH₄, y el ganado no lechero 82,39 Gg CH₄ el 2017, datos que se vinculan con una elevada demanda de alimentos de origen animal (carne y leche) debido al crecimiento de la población humana, exportación de la carne bovina, etc.
- Se encontró que existen variaciones considerables en la estimación de emisión de gases de metano totales entre regiones, emitido por el ganado bovino, las regiones bajas son los mayores emisores presentando 3.757,5 Gg de CH₄ frente a la región alta mostrando 357,7 Gg de CH₄, influenciadas por el tipo de alimentación, contenido de fibra, calidad del forraje, composición de la dieta, digestibilidad de alimento, hábitat del animal, manejo y sanidad, aspectos que pueden determinar la cantidad de gases emitidos a la atmósfera.
- Entre las categorías en estudio, las vacas lecheras fueron las mayores emisoras de gases de metano a la atmosfera en las tres regiones el 2017, la región de tierras bajas emitieron

215,78 Gg de CH₄, en los valles mostraron de 34,06 Gg/CH₄, y en las tierras altas 16,70 Gg/CH₄, de emisión.

- Las emisiones totales en las tres regiones, por fermentación entérica presentaron un promedio anual de 470,78 Gg de CH₄ y por manejo de estiércol 11,26 Gg de CH₄ en promedio año, dichas emisiones totales por fermentación entérica y manejo de estiércol en promedio por año fue 481,99 Gg de CH₄ por año, en este rubro a nivel nacional.
- El gas metano producido por el manejo de estiércol, emitidos por los bovinos, en su calidad de GEI juega un papel cada vez más importante en relación con los otros gases de este tipo, ya que sus concentraciones atmosféricas fueron de aproximadamente un 112,57 Gg/CH₄ de 2008 - 2017 de las tres regiones. La región más emisor de manejo de estiércol fue la región de las tierras bajas con un promedio anual de 11,22 Gg/CH₄/año.
- Se realizó el análisis de la incertidumbre para saber con exactitud las posibles variaciones en los valores del inventario de emisiones expresados en porcentaje, y cuanto es el error del mismo; al respecto se obtuvieron valores aceptables en el rango indicado del Panel Intergubernamental del Cambio Climático IPCC.
- La mayor incertidumbre obtenida por la fermentación entérica el 2010, fue la incertidumbre combinada de la región de las tierras bajas, con 16,40%, valores superior en comparación a las tierras altas que se obtuvo 6,23%. Asimismo para el 2017, la mayor incertidumbre combinada fue la misma región, con 17,60 %, en comparación a las tierras altas que se obtuvo un 6,23 %.
- Las incertidumbres totales provenientes de la ganadería bovina (fermentación entérica y manejo de estiércol) alcanzan a 19,4% el 2010, para el 2017 muestra 20,4%, valor superior a los cálculos realizados el 2004, lo que implica que los valores de factores de emisión por defecto, presentan una alta contribución a las incertidumbres de la región de las Tierras Bajas.

7. RECOMENDACIONES.

Tomando en cuenta los resultados plasmados en el inventario se recomienda lo siguiente:

- Priorizar la generación de información de la población ganadera bovina en el país, tanto por el sector público como el privado, para contar con información fidedigna y luego cuantificarla por regiones y categorías, utilizando tecnología aplicada para estimar datos exactos, para su posterior análisis.
- Actualizar la información del inventario de emisiones, obteniendo el número total de cabezas de ganado bovino en Bolivia y las categorías mencionadas por regiones, para contribuir a las investigaciones acerca del tema.
- Existen gran cantidad de factores que afectan a la producción de metano en la ganadería bovina, como las variaciones en población, manejo y sanidad, alimentación, nutrición animal, piso ecológico, por lo que las estrategias para reducir deben ser integrales y cuidadosamente planteadas para futuros proyectos y programas en el manejo del ganado bovino.
- Se debe evaluar con mayor profundidad las emisiones de metano en animales en pastoreo, especialmente en condiciones tropicales, ya que en el país no existe estudio científico en este campo, considerando la integridad de los GEI procedentes del sector pecuario para poder aplicar estrategias de reducción de este gas, la optimización de la producción animal puede ser una estrategia exitosa para reducir las emisiones de los GEI proveniente del ganado bovino.
- Se recomienda plantear técnicas y mecanismos que orienten reducir las emisiones del gas metano, mejorando las condiciones productivas del ganado, concientizando a los ganaderos disminuir la población bovina, con el objetivo de atenuar los efectos medio ambientales a la vez reducir los efectos de la contaminación de los GEI.
- Esta revisión, se debe difundir la información sobre la emisión de gases de CH₄ por la fermentación entérica y manejo de estiércol del ganado bovino y sus posibles efectos en las alteraciones climáticos, así como las alternativas existentes para su mitigación y las prácticas usadas en la gestión del estiércol tienen un potencial significado para

reducir las emisiones del almacenamiento del estiércol de su posterior aplicación en el suelo.

- Las acciones de incertidumbre de las emisiones de metano por los bovinos sólo son una parte de una amplia gama de acciones a realizar de manera inmediata para atenuar y frenar el efecto invernadero y las alteraciones climáticas del país, sugiero que los datos se obtenga in situ, para reducir el porcentaje de incertidumbres.
- Para lograr que las incertidumbres disminuyan, se recomienda hacer un buen manejo del ganado bovino, asegurando una alimentación equilibrada y fuentes o forrajes conteniendo taninos condensados (TC) han mostrado significantes efectos en la reducción de las emisiones de metano, otra alternativa el uso de concentrados, donde la intensidad de la disminución de las emisiones de metano dependerán de su nivel de inclusión.
- A lectores e investigadores del tema, se recomienda que se asuma una responsabilidad social y ambiental con el fin de concientizar a cerca de la contaminación de las emisiones del gas metano del ganado bovino, es por eso que sugiere que exista una necesidad urgente de ampliar la información sobre las emisiones de GEI, inventarios y estrategias de reducción de dichas emisiones a fin de aminorar la contaminación ambiental en el país y en el mundo.

7. BIBLIOGRAFIA.

- ALESSANDRETTI, E. (2011) Propuesta energética sostenible para establecimientos agropecuarios. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título en Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Universidad Privada. 142 p.
- ÁLVAREZ A. René, (2012) Digestión anaeróbica de residuos sólidos en el Altiplano boliviano. IIIDEPROQ, UMSA, La Paz, Bolivia Department of Chemical Engineering, Lund University, P. O. Box 124 – 221 00 Lund, Sweden.
- ANDERSON, R.C., Callaway, T.R., Van Kessel, J.A.S., Jung, Y.S., Edrington, T.S. y Nisbet, D.J. (2003) Effect of select nitrocompounds on ruminal fermentation; an initial look at their potential to reduce economic and environmental costs associated with ruminal methanogenesis. *BioresourceTechnol.* 90:59 pp.
- AQUINO, A. (2014) Relatorio de impacto ambiental: proyecto: engorde de bovino en confinamiento, fábrica de balanceados para bovinos, depósito de productos terminados, abastecedor de combustible. Ganadera San Humberto S.A. 72 p.
- ARANA, I., García M., Aparicio, M. (2007) El cambio climático en Bolivia: análisis síntesis de impacto y adaptación. PNCC, MPD, La Paz Bolivia. 99 p.
- BAVERA, G. A. (2000) Curso de Producción Bovina de Carne. FAV UNRC. 2 p. (Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion técnica a curso producción bovina de carne/00-curso producción bovina de carne.htm](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica_a_curso_produccion_bovina_de_carne/00-curso_produccion_bovina_de_carne.htm))
- BLAS, *et al.*, 2008. Contribución de los rumiantes a las Emisiones de gases con Efecto invernadero
- BELTRÁN-SANTOYO, M., Álvarez-Fuentes, G., Pinos-Rodríguez, J. (2016) Emisión de metano en los sistemas de producción de leche bovina en el Valle de San Luis Potosí, México. *Agrociencia* vol.50 no.3 México abr./may. 2016.
- BERRA, G; y FINSTER, L. (2002) Emisión de gases de efecto invernadero; influencia de la ganadería argentina, IDIA 21(2):212-215. Instituto de Pato biología, INTA Cautelar. Proyecto Metas de Emisión Arg /99/003 -PNUD - SRNDS, coordinadores del Sector Ganadería.

- BERRA, G. (2013) Generación de energía del metano producido por las vacas INTA Instituto Nacional de Tecnología, Periódico el Economista America.com.argentina
- BRIONES, V., Brusil, C., Delgado, L., Gaibor, W., Stachlscheid, E., White, S. (2000) Sistemas de producción: manejo de animales de altura. Manejo de páramos y zonas de altura. IEDECA-COSUDE-DGIS-INTERCOOPERATION. 308 p.
- BONILLA, J. y LEMUS, C. (2012) Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. *Rev Mex Cienc Pecu*, pp. 215-246.
- Buddle, B.M., Denis, M., Attwood, G.T., Altermann, E., Janssen, P.H., Ronimus, R.S., Pinares-Patiño, C.S., Muetzel, S. y Wedlock, D.N. (2011). Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *Vet. J.* 188: 11–17.
- CAMPERO, J. y MEDINA, A. (2004) Situación de los recursos zoogenéticos en Bolivia. Dirección de Ganadería; Dirección General de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca; Viceministerio de Agricultura Ganadería y Pesca; Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. 69 p.
- Cambra, López, M; García, Rebollar, P. (2008) Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: el factor de conversión de metano.; Madrid, España, Departamento de producción animal. Universidad Politécnica de Madrid. ETS Ingenieros Agrónomos.
- CAO, Y., Takahashi, T., Horiguchi, K., Yoshida, N. y Cai, Y. 2010. Emisiones de metano en la fermentación entérica en rumiantes alimentados con raciones de una mezcla de contenido de cultivos de arroz, salvados, minerales todo tipo de tecnologías transformadoras para alimentar a rumiantes en general. *Technol.* 157: 72–78.
- CARDOZO, A. (2007) La ganadería de leche en el altiplano boliviano. Diez de medina (ed.). 83 p.
- Carmona, J. C., Bolívar, DM, Giraldo, LG. (2005) El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones, aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Ciudadela Robledo, Medellín, COL. *Revista Colombiana Ciencia Pecuaria* Vol. 18. pp 2-3.

- CASTELÁN-ORTEGA, O., Ku-Vera, J., Estrada-Flores, J. (2014) Modeling methane emissions and methane inventories for cattle production systems in Mexico. *Atmósfera* vol.27 no.2 México abr. 2014, pp 185-191.
- CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, 2016 (Anuario del Ministerio de Ganadería bovina en Uruguay).
- CHAMBI, O. (2013) Límites normativos y sociales para regular la actividad laboral y prestación de servicios de los talleres de mecánica automotriz y ramas anexas. Tesis para optar parcialmente a Licenciado en Derecho, Carrera de Derecho, Facultad de Derecho y Ciencias Políticas, Universidad Mayor de San Andrés. 162 p.
- CHARMLEY, *et al.*, 2016. Reducing methane emissions from livestock and the role of Leucaena. s.l., The Leucaena Network 2009 Conference and Annual General Meeting.
- Clark, H., Pinares-Patiño, C. y De Klein, C. (2005) Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. *In: Grassland: A global Resource*. Ed: McGilloway DA. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. pp 279-293.
- CMNUCC (1992) Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- COPPOCK D. L. y VALDIVIA C. (2001) Agropastoralismo Sostenible en el Altiplano Boliviano: El Caso de San José Llanga. Departamento de Recursos de Pasturas Naturales, Universidad del Estado de Utah, USA. 59 p.
- CORTEZ, H. (2017) Producción lechera y efectos del cambio climático en dos comunidades del Altiplano Norte. *Apthapi* 3(3): 774-818. Sep. – Dic. 2017.
- ECHEVERRI, C. (2006) Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería. Córdoba, COL. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*, Vol. 5 num. 9, pp 50-85.
- EHP (Equipo Humanitario de País) (2016) Bolivia: Sequía, 2016. Reporte de Situación No. 02 (al 08 de septiembre de 2016). Red Humanitaria. 9 p.
- ENA, 2008. Población de Ganado Bovino en Bolivia (Encuestas Nacionales Agropecuarias),

- EPA (Environmental Protection Agency) (2011) Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2009, Washington, DC, EPA (acceso el 21 de Julio de 2011. Disponible en http://epa.gov/climatechange/emissions/daydownloads11/US-GHG-Inventory-2011-Complete_Report.pdf).
 - Eun, J., Fellner, V., y Gumpertz, M. (2004). Methane production by mixed ruminal cultures incubated in dual-flow fermenters. *J. Dairy Sci.*, 87,112-121. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73148-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73148-3)
 - FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2009) *Cómo alimentar al mundo en 2050*. Foro de expertos de alto nivel. Roma. 28 p.
 - FAO (2010) *Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment*, 95 p
 - FAO (2013) *Producción y sanidad animal. Mitigación de las emisiones de gases de efecto Invernadero en la producción ganadera. Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂*. pp. 44-75.
 - FEGASACRUZ (Federación de Ganaderos de Santa Cruz) (2015) *Ganadería sustentable. Fegasacruz: Año 1, Edición 4, septiembre 2015, Santa Cruz Bolivia*. 48 p.
- Ferrari, F. (2017) Información la nueva ganadería “El stock Argentino creció en 800 mil cabezas a 2017”
- Flores, E., Cruz, J., Ñaupari, J. 2006 *Comportamiento nutricional, perfil alimentario y economía de la producción lechera en praderas cultivadas en secano: Caso pasco*. Reporte científico CICCA-FDA-INCAGRO-CONCYTEC. Lima Perú.
 - FORONDA, R. (2004) *Promoción de inversiones en la ganadería familiar de las tierras bajas de Bolivia*. Proyecto de Cooperación Técnica Fao/Tcp/ 2910, Apoyo a la Integración Agropecuaria en el Mercosur Ampliado. FAO. 55 p.
 - Garzón J. (2011) *Cambio climático: ¿cómo afecta la producción ganadera?* *Revista Electrónica de Veterinaria. ESP*. Vol. 12. pp 1-8.
 - GEMIO, I. (2015) *Implementación de las capacidades de gestión administrativa y comercial de la planta Suma Millki*. Memoria para optar el grado de Contador Público; Carrera Contaduría

Pública, Facultad de Ciencias Económicas y Financieras, Universidad Mayor de San Andrés.
81 p.

- GERBER, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. Tempio, G. (2013) Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma. 153 p.
- GIL, S.B. (2004) Sistema de producción de carne bovina: Engorde intensivo (feedlot). Elementos que intervienen y posibles impactos en el medio ambiente. 13 p.
- GÓMEZ Darío, (2017) Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina. Cursillo: inventarios de emisión Santiago, Chile, 2012
- GONZÁLEZ, F; y RODRÍGUEZ, H. (1999) El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones, aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Ciudadela Robledo, Medellín, COL. *Revista Colombiana Ciencia Pecuaria*. Vol. 18. p 2-3.
- Groenestein, K., Mosquera, J., y Van der Sluis, S. (2012) Emission factors for methane and nitrous oxide from manure management and mitigation options. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. Vol. 9, Supplement 1, November 2012, 139–146.
- GUZMÁN, M; y SAGER, R. (2013) Inventario de metano entérico de los sistemas de producción de carne para San Luis en el año 2009. *RIA Revista de Investigaciones Agropecuarias*. Vol. 39. p 88-94. Buenos Aires, Argentina.
- IBGE (Instituto Brasileño de Geografía y estadística) 2014, Fundación Contexto Ganadero
- Hinojosa Y.L.A., Yopez N.D., Rodal C.F., Ríos O.A., Claros B.R., Suárez N.T., Jiménez L.E. (2014) Producción y características agronómicas de cuatro variedades de pasto de corte del género *pennisetum*, en Trinidad, Bolivia. *Agrociencias Amazonia*, Número 3: 28-35, Mayo 2014.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) (2007) Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático, Bogotá. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá D.C.

- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) (2007) El mercado de la carne vacuna en los países del CAS. Consejo Agropecuario del Sur, Red de Coordinación de Políticas Agropecuarias. 100 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013) 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, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK
- IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón. 5 volumes.
- IPCC (2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner, F., Eds., Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa.
- IPCC (2001) Climate Change 1995. The science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental panel for climatic change Houghton, J. T. Cambridge, United Kingdom Cambridge University Press. 572 p.
- IPCC (2000) Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman, J and Kruger, D and Galbally, I and Hiraishi, T and Nyenzi, B and Emmanuel, S and Buendia, L and Hoppaus, R and Martinsen, T and Meijer, J and Miwa, K and Tanabe, K (Eds). Institute of Global Environmental Strategies (IGES), on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Hayama, Japan.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volumes 1, 2 and 3. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- INE (Instituto Nacional de Estadística) (2017) Censo de Población ganadera, base de datos.

- Johnson, D.E., y Johnson, K.A., Ward, G.M. y Branine, M.E. (2000) Ruminants and other animals. Chapter 8. *En*: Atmospheric Methane: Its role in the global environment. Ed. M.A.K. Khalil. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg Germany, 112 p.
 - JONKER, H. *et al.*, 2017 Methane emission from lactating and non-lactating dairy cows and growing cattle fed fresh pasture animal production Science, 2017, 57, 643-648
- Luque, J. (2010) El gas metano y su relación con las actividades ganaderas de la provincia de Manabí, artículo de Ecuador.
- MACA (Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios) (2005) Estudio de identificación, mapeo y análisis competitivo de la cadena productiva del trigo. Ingeniería de Proyectos y Desarrollo Económico Social (INPRODES s.r.l.).
 - MACHON, R. (2008) Evaluación del sistema de comercialización de bovinos de carne de la micro región de Humanata, provincia Camacho. Tesis de Grado presentada como requisito parcial para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. 100 p.
 - MAHECHA, L; GALLEGO, L; PELÁEZ, F. (2002) Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Col. Cienc. Pec.* Vol. 15. 2 p.
 - MARAÑÓN *et al.*, 2012. Emisiones de gases de efecto invernadero por el ganado en sistemas de producción tropical.
 - MARÍN, A. (2013) Estimación del inventario de emisiones de metano entérico de ganado lechero en el departamento de Antioquia, Colombia. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias. Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. 115 p.
 - Maqueda, M., Carbonell, M; Martínez, E; Flórez, M. (2006) Fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura. Cali, COL. *Revista de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* Vol. 4. pp 14-18.
 - MDRAyMA-VDRA (Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente - Viceministerio de Desarrollo Rural y Agropecuario) (2006) Estadísticas Pecuarias 1995 – 2005. Documento trabajo del MDRAMA-VDRA. La Paz. 70 p.

- MDRyT. (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras) (2011) Población de ganado bovino en Bolivia y por Departamentos, (Razas bovino de carne aclimatado).
- MDRyT. (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras) (2016) Marco de gestión ambiental proyecto alianzas rurales PAR II (financiamiento adicional). EMPODERAR- Banco Mundial. 436 p.
- MDS-VRNMA-PNCC (Ministerio de Desarrollo Sostenible, Viceministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Programa Nacional de Cambios Climáticos) (2003) Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Bolivia para la Década 1990-2000 y su Análisis Tendencial. 218 p.
- MEDINA, E. (2016) Eficiencia alimenticia neta en becerras de los grupos raciales Criollo, Angus x Criollo y Hereford x Angus. Tesis presentada como requisito para obtener el Grado de Maestría en Ciencias, Área Mayor: Genética y Reproducción Animal. Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. 51 p.
- MEDINA, R. (2012) Proyecto de alianzas rurales: Estudio de evaluación ambiental PAR II. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. 144 p.
- MELO, P., NIETO, J., HERNÁNDEZ, J. (2016) Informe de evaluación de impactos del Fenómeno El Niño 2015 2016. PRASDES- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. 59 p.
- MINISTERIO DE DEFENSA CIVIL, 2017 Plan estratégico institucional sobre la contaminación ambiental por la cría de ganados.
- MMAyA-VMA-PNCC (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos, y de Gestión y Desarrollo Forestal, Programa Nacional de Cambios Climáticos) (2009) Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Bolivia 2002-2004. MMAyA-VMA-Programa Nacional de Cambios Climáticos. 214 p.
- MORENO, F; MOLINA, D. (2007) Manual: buenas prácticas agropecuarias (BPA) en la producción de ganado de doble propósito bajo confinamiento, con caña panelera como parte de la dieta. FAO. CORPOICA. pp. 108-111.

- Moss AR, Jouany JP, Newbold J. (2000) Methane production by ruminants: its contribution to global warming. INRA EDP Sciences. *Ann Zootech*, 2000; 49: 231-253.
- MOSCOCO. J. *et al.*, 2017 Producción de metano en vacunos al pastoreo suplementados con ensilado, concentrado y taninos en el Altiplano Peruano en época seca. *Revista de investigaciones Veterinarias del Perú*, 28 (4)
- MPD-VPTA-PNCC (Ministro de Planificación del Desarrollo-Viceministro de Planificación Territorial y Ambiental-Programa Nacional de Cambio Climáticos) (2007) Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático. OGP Internacional. 78 p.
- Muñoz, C.; Hube, S.; Morales, J. Yan, T. and Ungerfeld, E. M. 2015. Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livestock Sci.* 175: 37-46.
- Murray, R. M., Bryant, A.M. y Leng, R.A. (1996) Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *Br. J. Nutr.* 36: 1–14.
- Nkrumah, J.D., Okine, E.K., Mathison, G.W., Schmid, K., Li C., Basarab, J.A., Price, M.A., Wang, Z., Moore, S.S. (2006) Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J Anim Sci.* 2006 Jan; 84(1):145-53.
- OAP, (2018) Observatorio Agroambiental Productivo, Relevamiento de Información y Evaluación del Plan Estratégico Institucional del MDRyT 2014 - 2018
- ORMACHEA, E. y RAMIREZ, N. (2011) Producción de carne bovina en Bolivia y seguridad alimentaria. *Boletín de Seguimiento a Políticas Públicas - Segunda Época - Año VIII - N° 18.* 12 p.
- OSORIO D.; ARCE, T.; VAQUERO, A. (2011) Experiencia en manejo técnico de ganado bovino criollo. Trabajo dirigido para optar el grado de médico Veterinario Zootecnista. Carrera Medicina Veterinaria Zootecnia, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno. 53 p.
- PAZ, F. y DÍAZ, H. (2018) Relaciones entre la precipitación, producción de biomasa e índices espectrales de la vegetación: alcances y limitaciones. *Terra Latinoamericana* 36: 153-168.

- Pedreida, M., Primavesi, O., Lima, M., Frigheto, R., De Oliveira, G, y Berchielli, T. (2009) Ruminant methane emission by dairy cattle in Southeast Brazil. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.66, n.6, p.742-750, November/December 2009.
- PÉREZ, B. (2011) Suplementación de raciones para cebo intensivo de terneros con aceites vegetales: rendimientos productivos, calidad de la canal, de la grasa y de la carne. Memoria para optar al grado de doctor. Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid. 339 p.
- PENAS, 2013 Proceedings of the National Academy of Sciences Artículo publicado en la Revista Internacional de Chile uso de 3-nitrooxipropanol para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Pinares-Patiño CS, Hickey SM, Young EA, Dodds KG, MacLean S, Molano G, Sandoval E, et al. 2013b. Heritability estimates of methane emissions from sheep. *Animal* 7(Suppl 2): 316-321.
- Primavesi, O., Pedreira, M. S., Shiraishi, R., Aparecida A., Berchielli, T., Oliveira, S., Rodrigues, A., Barbosa, P. (2004) Manejo alimentar de bovinos leiteiros e sua relação com produção de metano ruminal. Circular Técnica EMPRAPA No 39. São Carlos, Brasil. 21 p.
- RAMOS, E. (2004) Rendimiento de forraje de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) bajo tres densidades de población. Tesis como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Producción. Departamento de Fitomejoramiento, División de Agronomía, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 95 p.
- REBICAMCLI (Red de Bioeconomía y Cambio Climático) (2014) Estado del arte de la bioeconomía y el cambio climático. Red de Bioeconomía y Cambio Climático (REBICAMCLI). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León, Coordinador. León, Nicaragua: Editorial Universitaria, 2014. 314 p.
- RELLING, E. y MATTIOLI, A. (2003) Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Cátedra de Fisiología, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata. 72 p.
- REYES, L., 2002. Efecto invernadero y cambio climático rol de CONAM (Consejo Nacional del Ambiente) del MDL (Mecanismo de desarrollo limpio), Lima, Perú: s.n.

- Ribeiro P. L., Machado, F., Campos, M., Guimaraes, R., Tomich, T., Reis, L. (2014) Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Rev Colomb Cienc Pecu* 2015; 28:124-143.
- RIVERA, J. E. (2015) Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en un Sistema Silvopastoril Intensivo (SSPi) y un Sistema Intensivo Convencional Orientados a la Producción de Leche Bajo Condiciones de bs –T. Tesis para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia 129p.
- ROBERTSON, P. (2004) Abatement of nitrous oxide, methane, and other non-CO2 greenhouse gases: The need for a system approach. pp. 493-506. *En*: C. R. Field and M. R. Raupach. (eds.). *The Global Carbon Cycle Integrating Humans, Climate, and the Nature World*. Scope 62. Island Press. Washington, DC, USA.
- RODA, M Julio (2015) Avances y tecnologías de manejo científico reproductivo Nutricional del animal lechero (FEDEPLE y COMVETCRUZ)
- Rojas, E. (2002) Escenarios Socioeconómicos (reporte no publicado). La Paz, Bolivia: MDSP – VMARNDF – PNCC.
- ROMERO, C. (2007) Competitividad económica-ambiental para la cadena de lácteos de Bolivia. UMSS-ASDI/SAREC-IESE-KIPUS. Cochabamba. 208 p.
- ROMERO, C. (2005) La cadena de lácteos de la agroindustria de Cochabamba. *En*: Competitividad Económica-Ambiental para la Cadena de Lácteos de la Agroindustria de Cochabamba. Programa de Cooperación a la Investigación Científica Asdi/SAREC. Instituto de Estudios Sociales y Económicos (IESE), Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Mayor de San Simón. pp 37-88.
- RÚA, M. (2011) La ganadería racional toma fuerza en américa latina. *Cultura Empresarial Ganadera*; Instituto André Voisin Internacional. Sitio argentino de *Producción Animal*. 10 p.
- SALAZAR, F. (2012) Manual de manejo y utilización de purines de lechería. Ed. INIA REMEHUE. Consorcio lechero CL. pp. 1-119
- Santillán S. N., García O.R.C., Benítez S. O., Limón N. V., Núñez M. Q., Schorr M. Greenhouse gases mitigation against climate change: United States-México border study case. Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Tesis de Maestría. 2013

- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) (2012) S.I.S.M.E.T.- Base de datos oficial del SENAMHI. Bolivia: senamhi.gob.bo
- SENASAG (Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e inocuidad alimentaria) (2012) Registro sanitario al aval emitido por el SENASAG a empresas de rubro alimenticio que cumplen con el reglamento.
- SOSA, E., PÉREZ, J., CABRERA, J. (2016) Fertilización y frecuencias de corte en la producción del clon cubano om-22 en quintana roo, México. En: Innovación Tecnológica para la Seguridad Alimentaria, Martínez, J., Ramírez, M., Cámara-Córdova, J. (Eds), pp 351-354.
- SOSA, A.; GALINDO, J.; BOCOURT, R. (2007) Metanogénesis ruminal: aspectos generales y manipulación para su control *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 41, núm. 2, 2007, pp. 105-114.
- SUCRE, M. y HEREDIA, J. (2005) El comercio internacional en la cadena agroindustrial de lácteos de Cochabamba. *En: Competitividad Económica-Ambiental para la Cadena de Lácteos de la Agroindustria de Cochabamba. Programa de Cooperación a la Investigación Científica Asdi/SAREC. Instituto de Estudios Sociales y Económicos (IESE), Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Mayor de San Simón.* pp 89-162.
- STEINFELD, *et al.*, 2010. El ganado emerge de larga sombra 18° Congreso Mundial de la carne bovina de OPIC en línea Buenos Aires 2010
- TICONA, G. (2011) Evaluación del abonamiento orgánico en dos variedades de acelga (*Beta vulgaris* var.cycla) en camas protegidas en la provincia los andes. Tesis de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Agronomía. Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad De Agronomía, Universidad Mayor De San Andrés. 123 p.
- Ulyatt, M., Lassey, K., Shelton, D. & Walker, C. (2002) Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in midsummer in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 45(4), pp. 27-34.
- VACA, J. (2003) Análisis de dos sistemas de producción ecológica utilizando novillos Nelore y Criollo Chaqueño en el área integrada de Santa Cruz - Bolivia. Tesis para optar el grado de doctor en veterinaria. Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba. Santa Cruz Bolivia. 403 p.

- VAN AMSTEL A. (2005) Integrated assessment of climate change with reduction of methane emissions. *Environ Sci 2* (2-3):315-326.
- VARGAS, J. (2013) Producción de metano in vitro e in vivo de gramíneas y leguminosas presentes en sistemas de producción bovina en trópico alto colombiano. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Magister en Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Departamento Producción Animal, Bogotá, Colombia. 137 p.
- VARGAS, E. (2007) Evaluación del sistema de producción ganadero de la comunidad Kjari Alta, Caquiaviri – provincia Pacajes. Tesis de grado presentado como requisito parcial para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. 126 p.
- VARGAS, H., POZO, R., SUÁREZ, L., SÁNCHEZ, C. (2005) Sistemas de producción y transformación tecnológica en la Cadena de Lácteos de la Agroindustria Cochabambina. *En: Competitividad Económica-Ambiental para la Cadena de Lácteos de la Agroindustria de Cochabamba*. Programa de Cooperación a la Investigación Científica Asdi/SAREC. Instituto de Estudios Sociales y Económicos (IESE), Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Mayor de San Simón. pp 227-250.
- WAGHORN G. (2008) Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production-Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, 147:116-139.
- WAGHORN, G. y HEGARTY, R. (2011) Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Anim Feed Sci Tech*, pp. 166-230.
- YAÑEZ, D. (2014) Investigador del CSIC de la estación Experimental del Zaidin, (Artículo publicado en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences (PENAS)*, Chile
- ZINDER, S. H. (1992) Methanogenesis. *En: Encyclopedia of Microbiology*, Lederberg, J. Ed. Academic Press, San Diego vol 3, 81 p.

ANEXO

ANEXO 1. Población ganadera bovino en Bolivia (Nº cabezas de ganado)

| | | POBLACIÓN GANADERA BOVINO EN BOLIVIA | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|---|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Región | Categorías | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| Tierras altas | Lechero | 295.040 | 296.416 | 297.792 | 302.183 | 300.543 | 300.756 | 303.586 | 304.054 | 306.516 | 309.354 |
| | No lechero | 184.824 | 185.686 | 186.547 | 189.298 | 188.271 | 188.404 | 190.177 | 190.470 | 192.013 | 193.790 |
| | Joven | 241.396 | 242.522 | 243.648 | 247.240 | 245.899 | 246.073 | 248.389 | 248.772 | 250.786 | 253.108 |
| | Bueyes | 59.041 | 59.316 | 59.592 | 60.470 | 60.142 | 60.185 | 60.751 | 60.845 | 61.338 | 61.905 |
| Valle | Lechero | 538.508 | 540.318 | 542.160 | 544.085 | 545.766 | 547.590 | 551.675 | 555.989 | 561.747 | 567.841 |
| | No lechero | 334.045 | 335.167 | 336.310 | 337.504 | 338.547 | 339.678 | 342.212 | 344.888 | 348.460 | 352.240 |
| | Joven | 440.598 | 442.078 | 443.585 | 445.161 | 446.536 | 448.028 | 451.370 | 454.900 | 459.611 | 464.597 |
| | Bueyes | 95.803 | 96.125 | 96.453 | 96.795 | 97.094 | 97.419 | 98.145 | 98.913 | 99.937 | 101.021 |
| Tierras bajas | Lechero | 2.265.659 | 2.303.069 | 2.353.763 | 2.413.977 | 2.481.166 | 2.595.216 | 2.652.002 | 2.706.823 | 2.753.074 | 2.815.587 |
| | No lechero | 1.334.050 | 1.356.077 | 1.385.927 | 1.421.382 | 1.460.943 | 1.528.097 | 1.561.534 | 1.593.813 | 1.621.047 | 1.657.855 |
| | Joven | 1.853.721 | 1.884.329 | 1.925.806 | 1.975.072 | 2.030.045 | 2.123.358 | 2.169.820 | 2.214.673 | 2.252.515 | 2.303.662 |
| | Bueyes | 144.116 | 146.496 | 149.720 | 153.550 | 157.824 | 165.079 | 168.691 | 172.178 | 175.120 | 179.096 |
| TOTAL | | 7.786.802,0 | 7.887.600, | 8.021.302 | 8.186.718 | 8.352.776 | 8.639.883 | 8.798.354 | 8.946.319 | 9.082.163 | 9.260.058 |

| REGION | CATEGORIAS | PROMEDIO | DESVIO ESTANDAR |
|---------------|-------------------|-----------------|------------------------|
| Tierras altas | Lechero | 301.624,0 | 4.482,5 |
| | No lechero | 188.948,0 | 2.808,0 |
| | Joven | 246.783,3 | 3.667,5 |
| | Bueyes | 60.358,6 | 897,0 |
| Valle | Lechero | 549.567,8 | 9.655,6 |
| | No lechero | 340.905,0 | 5.989,5 |
| | Joven | 449.646,4 | 7.900,0 |
| | Bueyes | 97.770,6 | 1.717,8 |
| Tierras bajas | Lechero | 2.534.033,7 | 197.158,4 |
| | No lechero | 1.492.072,7 | 116.089,5 |
| | Joven | 2.073.300,3 | 161.311,4 |
| | Bueyes | 161.187,1 | 12.541,0 |

ANEXO 2. Emisiones de gases de metano por fermentación entérica:

| | | 2008 | | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|----------------------|----------------|-----------------------------|---|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | A | B | C | F | | | | | | | | | |
| | Tipo de ganado | Número de animales (1000's) | Factores de emisión para la fermentación entérica | Emisiones procedentes de la fermentación entérica | Total anual emisiones procedentes del ganado bovino | | | | | | | | | |
| | | | kg/cabeza/año | (t/año) | (Gg) | | | | | | | | | |
| | | | | $C = (A \times B)$ | $F = (C)/1000$ | | | | | | | | | |
| Tierras Altas | Lechero | 295 | 53,99 | 15.928,44 | 15,93 | 16,00 | 16,08 | 16,31 | 16,23 | 16,24 | 16,39 | 16,42 | 16,55 | 16,70 |
| | No lechero | 185 | 43,55 | 8.048,15 | 8,05 | 8,09 | 8,12 | 8,24 | 8,20 | 8,20 | 8,28 | 8,29 | 8,36 | 8,44 |
| | Joven | 241 | 30,53 | 7.370,23 | 7,37 | 7,40 | 7,44 | 7,55 | 7,51 | 7,51 | 7,58 | 7,60 | 7,66 | 7,73 |
| | Bueyes | 59 | 56,03 | 3.308,08 | 3,31 | 3,32 | 3,34 | 3,39 | 3,37 | 3,37 | 3,40 | 3,41 | 3,44 | 3,47 |
| Valles | Lechero | 539 | 59,97 | 32.297,04 | 32,30 | 32,41 | 32,52 | 32,63 | 32,73 | 32,84 | 33,09 | 33,35 | 33,69 | 34,06 |
| | No lechero | 334 | 44,23 | 14.774,63 | 14,77 | 14,82 | 14,87 | 14,93 | 14,97 | 15,02 | 15,14 | 15,25 | 15,41 | 15,58 |
| | Jóven | 441 | 33,88 | 14.925,53 | 14,93 | 14,98 | 15,03 | 15,08 | 15,13 | 15,18 | 15,29 | 15,41 | 15,57 | 15,74 |
| | Bueyes | 96 | 60,09 | 5.756,54 | 5,76 | 5,78 | 5,80 | 5,82 | 5,83 | 5,85 | 5,90 | 5,94 | 6,00 | 6,07 |
| Tierras Bajas | Lechero | 2266 | 76,64 | 173.632,09 | 173,63 | 176,5 | 180,4 | 185,0 | 190,2 | 198,9 | 203,2 | 207,4 | 211 | 215,8 |
| | No lechero | 1334 | 49,70 | 66.296,17 | 66,30 | 67,39 | 68,87 | 70,64 | 72,60 | 75,94 | 77,60 | 79,21 | 80,56 | 82,39 |
| | Jóven | 1854 | 42,09 | 78.022,45 | 78,02 | 79,31 | 81,06 | 83,13 | 85,44 | 89,37 | 91,33 | 93,21 | 94,81 | 96,96 |
| | Bueyes | 144 | 70,00 | 10.088,68 | 10,09 | 10,26 | 10,48 | 10,75 | 11,05 | 11,56 | 11,81 | 12,05 | 12,26 | 12,54 |
| | Totales | | | 430.448,02 | 430,45 | 436,25 | 443,99 | 453,46 | 463,21 | 479,98 | 489,05 | 497,58 | 505,29 | 515,44 |

ANEXO 3. Emisiones del gas metano de manejo de estiércol por regiones y categorías

| | | | | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|----------------------|----------------|-----------------------------|---|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Tipo de ganado | Número de animales (1000's) | Factores de emisión para manejo del estiércol (kg/cabeza/año) | Emisiones procedentes del manejo del estiércol (t/año) | Total anual emisiones procedente del ganado bovino Gg | | | | | | | | | |
| | | | | E = (A x D) | F =(C)/1000 | | | | | | | | | |
| TIERRAS ALTAS | Lechero | 295 | 0,50 | 147,18 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| | No lechero | 185 | 0,47 | 86,71 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| | Joven | 241 | 0,22 | 52,38 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | Bueyes | 59 | 0,70 | 41,20 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| VALLES | Lechero | 539 | 1,04 | 559,46 | 0,56 | 0,56 | 0,56 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,58 | 0,58 | 0,59 |
| | No lechero | 334 | 0,62 | 207,04 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,22 | 0,22 |
| | Jóven | 441 | 0,45 | 198,88 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,21 |
| | Bueyes | 96 | 0,98 | 94,11 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| TIERRAS BAJAS | Lechero | 2266 | 2,36 | 5.338,89 | 5,34 | 5,43 | 5,55 | 5,69 | 5,85 | 6,12 | 6,25 | 6,38 | 6,49 | 6,63 |
| | No lechero | 1334 | 1,01 | 1.344,06 | 1,34 | 1,37 | 1,40 | 1,43 | 1,47 | 1,54 | 1,57 | 1,61 | 1,63 | 1,67 |
| | Jóven | 1854 | 1,00 | 1.845,43 | 1,85 | 1,88 | 1,92 | 1,97 | 2,02 | 2,11 | 2,16 | 2,20 | 2,24 | 2,29 |
| | Bueyes | 144 | 1,66 | 238,62 | 0,24 | 0,24 | 0,25 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,29 | 0,30 |
| | Totales | | | 10.153,98 | 10,15 | 10,30 | 10,51 | 10,75 | 11,01 | 11,45 | 11,68 | 11,91 | 12,10 | 12,36 |

ANEXO 4. Sumatoria total de fermentación entérica y manejo de estiércol

| REGIONES | CATEGORIAS | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|----------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| TIERRAS ALTAS | Lechero | 16,08 | 16,15 | 16,23 | 16,46 | 16,38 | 16,39 | 16,54 | 16,57 | 16,70 | 16,86 |
| | No lechero | 8,13 | 8,17 | 8,21 | 8,33 | 8,29 | 8,29 | 8,37 | 8,38 | 8,45 | 8,53 |
| | Joven | 7,42 | 7,46 | 7,49 | 7,60 | 7,56 | 7,57 | 7,64 | 7,65 | 7,71 | 7,78 |
| | Bueyes | 3,35 | 3,36 | 3,38 | 3,43 | 3,41 | 3,41 | 3,45 | 3,45 | 3,48 | 3,51 |
| VALLES | Lechero | 32,86 | 32,97 | 33,08 | 33,20 | 33,30 | 33,41 | 33,66 | 33,92 | 34,27 | 34,65 |
| | No lechero | 14,98 | 15,03 | 15,08 | 15,14 | 15,18 | 15,23 | 15,35 | 15,47 | 15,63 | 15,80 |
| | Jóven | 15,12 | 15,18 | 15,23 | 15,28 | 15,33 | 15,38 | 15,49 | 15,62 | 15,78 | 15,95 |
| | Bueyes | 5,85 | 5,87 | 5,89 | 5,91 | 5,93 | 5,95 | 5,99 | 6,04 | 6,10 | 6,17 |
| TIERRAS BAJAS | Lechero | 178,97 | 181,93 | 185,93 | 190,69 | 195,99 | 205,00 | 209,49 | 213,82 | 217,47 | 222,41 |
| | No lechero | 67,64 | 68,76 | 70,27 | 72,07 | 74,07 | 77,48 | 79,17 | 80,81 | 82,19 | 84,06 |
| | Jóven | 79,87 | 81,19 | 82,97 | 85,10 | 87,46 | 91,49 | 93,49 | 95,42 | 97,05 | 99,25 |
| | Bueyes | 10,33 | 10,50 | 10,73 | 11,00 | 11,31 | 11,83 | 12,09 | 12,34 | 12,55 | 12,83 |

ANEXO 5 Incertidumbre 2010

| | Gas | Emisiones del año base 2008 | Emisiones del año 2010 | Incertidumbre de los datos de actividad | Incertidumbre del factor de emisión | Incertidumbres combinadas | Incertidumbres combinadas como porcentaje del total de las emisiones sectoriales en el año 2010 | Sensibilidad de Tipo A | Sensibilidad de Tipo B | Incertidumbre en la tendencia de las emisiones del sector introducidas por la incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducidas por la incertidumbre en los datos de actividad | Incertidumbre en las tendencias en las emisiones nacionales totales | Indicador de la calidad del factor de emisión | | |
|--------------|------------|-----------------------------|------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------|---|------------------------|------------------------|---|---|---|---|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | Datos de entrada GgCO ₂ e/q | Datos de entrada GgCO ₂ e/q |
| TIERRAS | LECHERO | F E | CH ₄ | 15,93 | 16,08 | 15 | 10 | 18,03 | 17,863 | 0,0000 | 1,000 | 0,00 | 21,209 | 21,209 | D |
| ALTAS | LECHERO | ME | CH ₄ | 0,15 | 0,15 | 15 | 10 | 18,03 | 0,165 | -0,0002 | 0,009 | 0,00 | 0,196 | 0,196 | D |
| | | F E | CH ₄ | 8,05 | 8,12 | 15 | 10 | 18,03 | 9,025 | 0,0000 | 0,505 | 0,00 | 10,716 | 10,716 | |
| | NO LECHERO | ME | CH ₄ | 0,09 | 0,09 | 15 | 10 | 18,03 | 0,097 | 0,0000 | 0,005 | 0,00 | 0,115 | 0,115 | |
| | | F E | CH ₄ | 7,37 | 7,44 | 15 | 10 | 18,03 | 8,265 | 0,0001 | 0,463 | 0,00 | 9,814 | 9,814 | |
| | JOVEN | ME | CH ₄ | 0,05 | 0,05 | 15 | 10 | 18,03 | 0,059 | 0,0000 | 0,003 | 0,00 | 0,070 | 0,070 | |
| | | F E | CH ₄ | 3,31 | 3,34 | 15 | 10 | 18,03 | 3,710 | -0,0001 | 0,208 | 0,00 | 4,405 | 4,405 | |
| VALLES | BUEY | ME | CH ₄ | 0,04 | 0,04 | 15 | 10 | 18,03 | 0,046 | 0,0000 | 0,003 | 0,00 | 0,055 | 0,055 | |
| | | F E | CH ₄ | 32,30 | 32,52 | 10 | 10 | 14,14 | 28,341 | -0,0047 | 2,022 | -0,05 | 28,597 | 28,597 | |
| | LECHERO | ME | CH ₄ | 0,55 | 0,56 | 10 | 10 | 14,14 | 0,491 | 0,0005 | 0,035 | 0,01 | 0,495 | 0,495 | |
| | | F E | CH ₄ | 14,77 | 14,87 | 10 | 10 | 14,14 | 12,965 | -0,0018 | 0,925 | -0,02 | 13,082 | 13,082 | |
| | NO LECHERO | ME | CH ₄ | 0,21 | 0,21 | 10 | 10 | 14,14 | 0,182 | -0,0002 | 0,013 | 0,00 | 0,183 | 0,183 | |
| | | F E | CH ₄ | 14,93 | 15,03 | 10 | 10 | 14,14 | 13,097 | -0,0024 | 0,934 | -0,02 | 13,216 | 13,216 | |
| JOVEN | ME | CH ₄ | 0,19 | 0,20 | 10 | 10 | 14,14 | 0,175 | 0,0005 | 0,012 | 0,01 | 0,176 | 0,176 | | |
| | F E | CH ₄ | 5,76 | 5,80 | 10 | 10 | 14,14 | 5,051 | -0,0010 | 0,360 | -0,01 | 5,097 | 5,097 | | |
| TIERRAS | BUEY | ME | CH ₄ | 0,09 | 0,09 | 10 | 10 | 14,14 | 0,083 | 0,0000 | 0,006 | 0,00 | 0,083 | 0,083 | |
| | | F E | CH ₄ | 173,63 | 180,38 | 8 | 10 | 12,81 | 142,371 | 0,2909 | 11,218 | 2,91 | 126,916 | 126,950 | |
| TIERRA BAJAS | LECHERO | ME | CH ₄ | 5,33 | 5,55 | 8 | 10 | 12,81 | 4,378 | 0,0104 | 0,345 | 0,10 | 3,902 | 3,904 | |
| | | F E | CH ₄ | 66,29 | 68,87 | 8 | 10 | 12,81 | 54,360 | 0,1185 | 4,283 | 1,19 | 48,459 | 48,474 | |
| | NO LECHERO | ME | CH ₄ | 1,34 | 1,40 | 8 | 10 | 12,81 | 1,102 | 0,0027 | 0,087 | 0,03 | 0,982 | 0,983 | |
| | | F E | CH ₄ | 78,02 | 81,06 | 8 | 10 | 12,81 | 63,975 | 0,1381 | 5,041 | 1,38 | 57,030 | 57,047 | |
| | JOVEN | ME | CH ₄ | 1,84 | 1,92 | 8 | 10 | 12,81 | 1,513 | 0,0038 | 0,119 | 0,04 | 1,349 | 1,349 | |
| | | F E | CH ₄ | 10,08 | 10,48 | 8 | 10 | 12,81 | 8,272 | 0,0191 | 0,652 | 0,19 | 7,374 | 7,377 | |
| BUEY | ME | CH ₄ | 0,23 | 0,25 | 8 | 10 | 12,81 | 0,196 | 0,0010 | 0,015 | 0,01 | 0,174 | 0,175 | | |
| | F E | CH ₄ | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 16,08 | 16,23 | | | 19,385 | | | | 18,809 | | | |

Fuente: Elaboración en base a MDRyT Información de OAP (2017)

ANEXO 6 Incertidumbre 2013

| | | Gas | Emisiones del año base 2008 | Emisiones del año 2013 | Incertidumbre de los datos de actividad | Incertidumbre del factor de emisión | Incertidumbres combinadas | Incertidumbres combinadas como porcentaje del total de las emisiones sectoriales en el año 2013 | Sensibilidad de Tipo A | Sensibilidad de Tipo B | Incertidumbre en la tendencia de las emisiones del sector introducidas por la incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducidas por la incertidumbre en los datos de actividad | Incertidumbre en las emisiones nacionales totales | |
|---------|------------|-----|-----------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------|---|------------------------|------------------------|---|---|---|---------|
| | | | Datos de entrada Gg CH4 | Datos de entrada GgCO ₂ eq | Datos de entrada % | Datos de entrada % | $\sqrt{E^2+F^2}$ | (GxD)/ΣD | | D / ΣC | I x F | J x E x $\sqrt{2}$ | $\sqrt{K^2+L^2}$ | |
| | | | | | | | % | % | % | % | % | % | % | |
| TIERRAS | LECHERO | FE | CH ₄ | 15,93 | 16,24 | 15 | 10 | 18,03 | 17,863 | 0,0000 | 1,010 | 0,00 | 21,420 | 21,420 |
| ALTA | | ME | CH ₄ | 0,15 | 0,15 | 15 | 10 | 18,03 | 0,165 | -0,0002 | 0,009 | 0,00 | 0,198 | 0,198 |
| | NO LECHERO | FE | CH ₄ | 8,05 | 8,20 | 15 | 10 | 18,03 | 9,025 | 0,0000 | 0,510 | 0,00 | 10,823 | 10,823 |
| | | ME | CH ₄ | 0,09 | 0,09 | 15 | 10 | 18,03 | 0,097 | 0,0000 | 0,005 | 0,00 | 0,117 | 0,117 |
| | JOVEN | FE | CH ₄ | 7,37 | 7,51 | 15 | 10 | 18,03 | 8,265 | 0,0001 | 0,467 | 0,00 | 9,911 | 9,911 |
| | | ME | CH ₄ | 0,05 | 0,05 | 15 | 10 | 18,03 | 0,059 | 0,0000 | 0,003 | 0,00 | 0,070 | 0,070 |
| | BUEY | FE | CH ₄ | 3,31 | 3,37 | 15 | 10 | 18,03 | 3,710 | -0,0001 | 0,210 | 0,00 | 4,449 | 4,449 |
| | | ME | CH ₄ | 0,04 | 0,04 | 15 | 10 | 18,03 | 0,046 | 0,0000 | 0,003 | 0,00 | 0,055 | 0,055 |
| VALLES | LECHERO | FE | CH ₄ | 32,30 | 32,84 | 10 | 10 | 14,14 | 28,343 | -0,0046 | 2,042 | -0,05 | 28,884 | 28,884 |
| | | ME | CH ₄ | 0,55 | 0,57 | 10 | 10 | 14,14 | 0,491 | 0,0005 | 0,035 | 0,01 | 0,500 | 0,500 |
| | NO LECHERO | FE | CH ₄ | 14,77 | 15,02 | 10 | 10 | 14,14 | 12,966 | -0,0017 | 0,934 | -0,02 | 13,213 | 13,213 |
| | | ME | CH ₄ | 0,21 | 0,21 | 10 | 10 | 14,14 | 0,182 | -0,0002 | 0,013 | 0,00 | 0,185 | 0,185 |
| | JOVEN | FE | CH ₄ | 14,93 | 15,18 | 10 | 10 | 14,14 | 13,098 | -0,0023 | 0,944 | -0,02 | 13,348 | 13,348 |
| | | ME | CH ₄ | 0,19 | 0,20 | 10 | 10 | 14,14 | 0,175 | 0,0005 | 0,013 | 0,01 | 0,178 | 0,178 |
| | BUEY | FE | CH ₄ | 5,76 | 5,85 | 10 | 10 | 14,14 | 5,052 | -0,0010 | 0,364 | -0,01 | 5,148 | 5,148 |
| | | ME | CH ₄ | 0,09 | 0,10 | 10 | 10 | 14,14 | 0,083 | 0,0000 | 0,006 | 0,00 | 0,084 | 0,084 |
| TIERRAS | LECHERO | FE | CH ₄ | 173,63 | 198,89 | 8 | 10 | 12,81 | 155,428 | 1,2316 | 12,369 | 12,32 | 139,935 | 140,476 |
| BAJAS | | ME | CH ₄ | 5,33 | 6,12 | 8 | 10 | 12,81 | 4,779 | 0,0424 | 0,380 | 0,42 | 4,303 | 4,324 |
| | NO LECHERO | FE | CH ₄ | 66,29 | 75,94 | 8 | 10 | 12,81 | 59,346 | 0,5007 | 4,723 | 5,01 | 53,430 | 53,664 |
| | | ME | CH ₄ | 1,34 | 1,54 | 8 | 10 | 12,81 | 1,203 | 0,0108 | 0,096 | 0,11 | 1,083 | 1,089 |
| | JOVEN | FE | CH ₄ | 78,02 | 89,37 | 8 | 10 | 12,81 | 69,842 | 0,5848 | 5,558 | 5,85 | 62,881 | 63,152 |
| | | ME | CH ₄ | 1,84 | 2,11 | 8 | 10 | 12,81 | 1,652 | 0,0148 | 0,131 | 0,15 | 1,487 | 1,495 |
| | BUEY | FE | CH ₄ | 10,08 | 11,56 | 8 | 10 | 12,81 | 9,031 | 0,0793 | 0,719 | 0,79 | 8,131 | 8,169 |
| | | ME | CH ₄ | 0,23 | 0,27 | 8 | 10 | 12,81 | 0,214 | 0,0024 | 0,017 | 0,02 | 0,192 | 0,194 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 16,08 | 16,39 | | | | 20,028 | | | | | 19,523 |

Fuente: Elaboración en base a MDRyT Información de OAP (2017)

ANEXO 7. Incertidumbre 2017

| REGION | CATEGORIA | Gas | Emisiones del año | | Incertidumbre de los datos de actividad | Incertidumbre del factor de emisión | Incertidumbres combinadas | Incertidumbres combinadas como porcentaje del total de las emisiones sectoriales en el año 2017 (G&D) /áD | Sensibilidad de Tipo A | Sensibilidad de Tipo B | Incertidumbre en la tendencia de las emisiones del sector introducidas por la incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducidas por la incertidumbre en los datos de actividad | Incertidumbre en las tendencias en las emisiones nacionales totales | |
|--------|------------|--------|-------------------|------------------|---|-------------------------------------|---------------------------|---|------------------------|------------------------|---|---|---|---------|
| | | | base 2008 | 2017 | | | | | | | | | | |
| | | | Datos de entrada | Datos de entrada | Datos de entrada | Datos de entrada | $\overline{OE}^2 \pm F^2$ | | D / áC | I x F | J x E x O2 | $\overline{OK}^2 \pm L^2$ | | |
| | | | Gg CH4 | Gg CO2eq | % | % | % | % | % | % | % | % | | |
| T.A. | LECHERO | FE | CH4 | 15,93 | 16,70 | 15 | 10 | 18,03 | 17,863 | 0,0000 | 1,039 | 0,00 | 22,033 | 22,033 |
| | | ME | CH4 | 0,15 | 0,15 | 15 | 10 | 18,03 | 0,165 | -0,0002 | 0,010 | 0,00 | 0,204 | 0,204 |
| | NO LECHERO | FE | CH4 | 8,05 | 8,44 | 15 | 10 | 18,03 | 9,025 | 0,0000 | 0,525 | 0,00 | 11,132 | 11,132 |
| | | ME | CH4 | 0,09 | 0,09 | 15 | 10 | 18,03 | 0,097 | 0,0000 | 0,006 | 0,00 | 0,120 | 0,120 |
| | JOVEN | FE | CH4 | 7,37 | 7,73 | 15 | 10 | 18,03 | 8,265 | 0,0001 | 0,481 | 0,00 | 10,195 | 10,195 |
| | | ME | CH4 | 0,05 | 0,05 | 15 | 10 | 18,03 | 0,059 | 0,0000 | 0,003 | 0,00 | 0,072 | 0,072 |
| | BUEY | FE | CH4 | 3,31 | 3,47 | 15 | 10 | 18,03 | 3,710 | -0,0001 | 0,216 | 0,00 | 4,576 | 4,576 |
| | | ME | CH4 | 0,04 | 0,04 | 15 | 10 | 18,03 | 0,046 | 0,0000 | 0,003 | 0,00 | 0,057 | 0,057 |
| VALLES | LECHERO | FE | CH4 | 32,30 | 34,06 | 10 | 10 | 14,14 | 28,574 | 0,0121 | 2,118 | 0,12 | 29,952 | 29,952 |
| | | ME | CH4 | 0,55 | 0,59 | 10 | 10 | 14,14 | 0,495 | 0,0008 | 0,037 | 0,01 | 0,519 | 0,519 |
| | NO LECHERO | FE | CH4 | 14,77 | 15,58 | 10 | 10 | 14,14 | 13,071 | 0,0060 | 0,969 | 0,06 | 13,702 | 13,702 |
| | | ME | CH4 | 0,21 | 0,22 | 10 | 10 | 14,14 | 0,183 | -0,0001 | 0,014 | 0,00 | 0,192 | 0,192 |
| | JOVEN | FE | CH4 | 14,93 | 15,74 | 10 | 10 | 14,14 | 13,205 | 0,0054 | 0,979 | 0,05 | 13,842 | 13,842 |
| | | ME | CH4 | 0,19 | 0,21 | 10 | 10 | 14,14 | 0,176 | 0,0007 | 0,013 | 0,01 | 0,184 | 0,185 |
| | BUEY | FE | CH4 | 5,76 | 6,07 | 10 | 10 | 14,14 | 5,093 | 0,0020 | 0,377 | 0,02 | 5,339 | 5,339 |
| | | ME | CH4 | 0,09 | 0,10 | 10 | 10 | 14,14 | 0,083 | 0,0000 | 0,006 | 0,00 | 0,087 | 0,087 |
| T.B. | LECHERO | ntació | CH4 | 173,63 | 215,78 | 8 | 10 | 12,81 | 163,940 | 1,8956 | 13,419 | 18,96 | 151,818 | 152,997 |
| | | o de | CH4 | 5,33 | 6,63 | 8 | 10 | 12,81 | 5,041 | 0,0649 | 0,413 | 0,65 | 4,668 | 4,713 |
| | NO LECHERO | ntació | CH4 | 66,29 | 82,39 | 8 | 10 | 12,81 | 62,595 | 0,7705 | 5,124 | 7,71 | 57,967 | 58,477 |
| | | o de | CH4 | 1,34 | 1,67 | 8 | 10 | 12,81 | 1,269 | 0,0165 | 0,104 | 0,17 | 1,175 | 1,187 |
| | JOVEN | ntació | CH4 | 78,02 | 96,96 | 8 | 10 | 12,81 | 73,667 | 0,9001 | 6,030 | 9,00 | 68,220 | 68,811 |
| | | o de | CH4 | 1,84 | 2,29 | 8 | 10 | 12,81 | 1,742 | 0,0226 | 0,143 | 0,23 | 1,614 | 1,629 |
| | BUEY | ntació | CH4 | 10,08 | 12,54 | 8 | 10 | 12,81 | 9,526 | 0,1218 | 0,780 | 1,22 | 8,821 | 8,905 |
| | | o de | CH4 | 0,23 | 0,30 | 8 | 10 | 12,81 | 0,225 | 0,0034 | 0,018 | 0,03 | 0,209 | 0,211 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 16,08 | 16,86 | | | | 20,448 | | | | | 20,227 |

Fuente: Elaboración en base a MDRyT Información de OAP (2017)

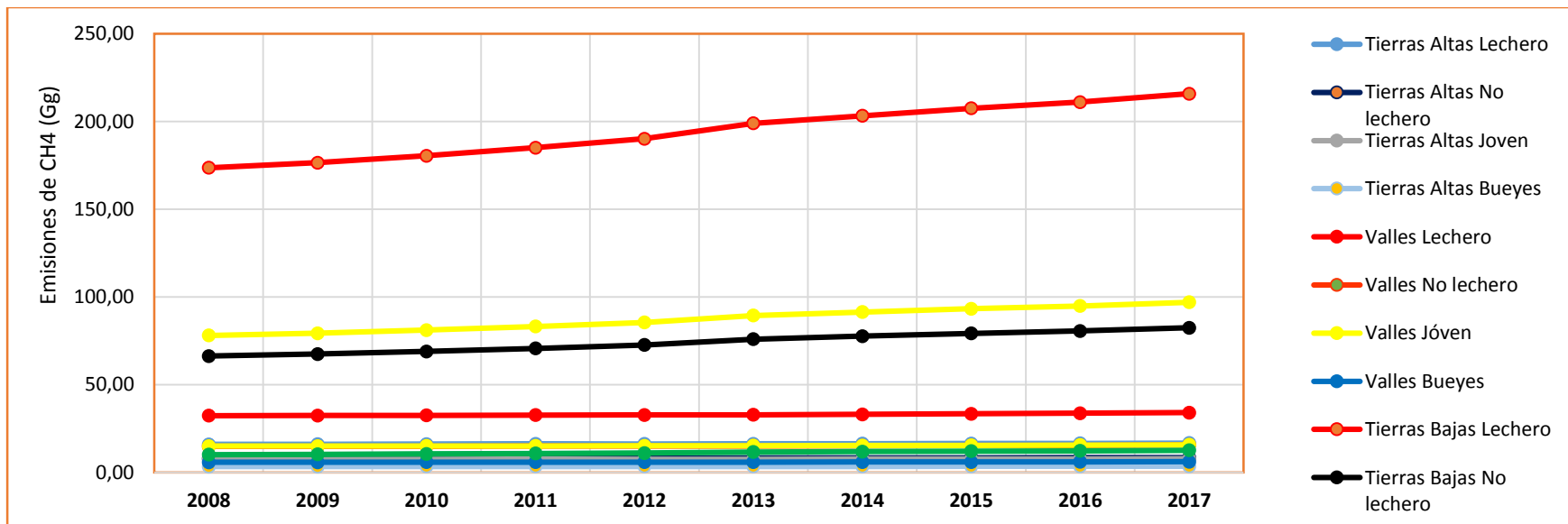
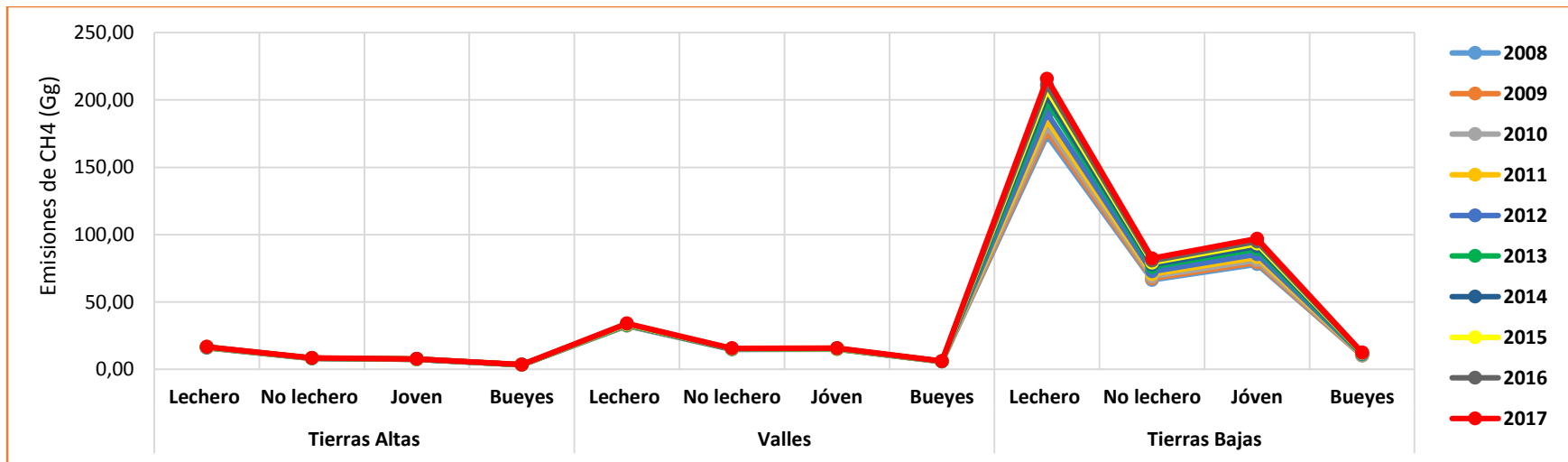
ANEXO 8. Incertidumbres totales

| REGION | CATEGORIA | | Gas | Emisiones del año base 2008 | Emisiones del año 2017 | Incertidumbre de los datos de actividad | Incertidumbre del factor de emisión | Incertidumbres combinadas | Incertidumbres combinadas como porcentaje del total de las emisiones sectoriales en el año 2017 | Sensibilidad de Tipo A | Sensibilidad de Tipo B | Incertidumbre en la tendencia de las emisiones del sector introducidas por la incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducidas por la incertidumbre en los datos de actividad | Incertidumbre en las tendencias en las emisiones nacionales totales | |
|--------|------------|------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------|---|------------------------|------------------------|---|---|---|---------|
| | | | | Datos de entrada | Datos de entrada | Datos de entrada | Datos de entrada | $\overline{OE}^2 + F^2$ | (Gd)áD | | D / áC | I x F | J x E x O ₂ | $\overline{OK}^2 + L^2$ | |
| | | | | Gg CH ₄ | Gg CO ₂ eq | % | % | % | % | % | % | % | % | % | |
| T A. | LECHERO | FE | CH ₄ | 15,93 | 16,70 | 15 | 10 | 18,03 | 17,863 | 0,0000 | 1,039 | 0,00 | 22,033 | 22,033 | |
| | | ME | CH ₄ | 0,15 | 0,15 | 15 | 10 | 18,03 | 0,165 | -0,0002 | 0,010 | 0,00 | 0,204 | 0,204 | |
| | NO LECHERO | FE | CH ₄ | 8,05 | 8,44 | 15 | 10 | 18,03 | 9,025 | 0,0000 | 0,525 | 0,00 | 11,132 | 11,132 | |
| | | ME | CH ₄ | 0,09 | 0,09 | 15 | 10 | 18,03 | 0,097 | 0,0000 | 0,006 | 0,00 | 0,120 | 0,120 | |
| | JOVEN | FE | CH ₄ | 7,37 | 7,73 | 15 | 10 | 18,03 | 8,265 | 0,0001 | 0,481 | 0,00 | 10,195 | 10,195 | |
| | | ME | CH ₄ | 0,05 | 0,05 | 15 | 10 | 18,03 | 0,059 | 0,0000 | 0,003 | 0,00 | 0,072 | 0,072 | |
| | BUEY | FE | CH ₄ | 3,31 | 3,47 | 15 | 10 | 18,03 | 3,710 | -0,0001 | 0,216 | 0,00 | 4,576 | 4,576 | |
| | | ME | CH ₄ | 0,04 | 0,04 | 15 | 10 | 18,03 | 0,046 | 0,0000 | 0,003 | 0,00 | 0,057 | 0,057 | |
| | VALLES | LECHERO | FE | CH ₄ | 32,30 | 34,06 | 10 | 10 | 14,14 | 28,574 | 0,0121 | 2,118 | 0,12 | 29,952 | 29,952 |
| | | | ME | CH ₄ | 0,55 | 0,59 | 10 | 10 | 14,14 | 0,495 | 0,0008 | 0,037 | 0,01 | 0,519 | 0,519 |
| | | NO LECHERO | FE | CH ₄ | 14,77 | 15,58 | 10 | 10 | 14,14 | 13,071 | 0,0060 | 0,969 | 0,06 | 13,702 | 13,702 |
| | | | ME | CH ₄ | 0,21 | 0,22 | 10 | 10 | 14,14 | 0,183 | -0,0001 | 0,014 | 0,00 | 0,192 | 0,192 |
| JOVEN | | FE | CH ₄ | 14,93 | 15,74 | 10 | 10 | 14,14 | 13,205 | 0,0054 | 0,979 | 0,05 | 13,842 | 13,842 | |
| | | ME | CH ₄ | 0,19 | 0,21 | 10 | 10 | 14,14 | 0,176 | 0,0007 | 0,013 | 0,01 | 0,184 | 0,185 | |
| BUEY | | FE | CH ₄ | 5,76 | 6,07 | 10 | 10 | 14,14 | 5,093 | 0,0020 | 0,377 | 0,02 | 5,339 | 5,339 | |
| | | ME | CH ₄ | 0,09 | 0,10 | 10 | 10 | 14,14 | 0,083 | 0,0000 | 0,006 | 0,00 | 0,087 | 0,087 | |
| T B. | | LECHERO | FE | CH ₄ | 173,63 | 215,78 | 8 | 10 | 12,81 | 163,940 | 1,8956 | 13,419 | 18,96 | 151,818 | 152,997 |
| | | | ME | CH ₄ | 5,33 | 6,63 | 8 | 10 | 12,81 | 5,041 | 0,0649 | 0,413 | 0,65 | 4,668 | 4,713 |
| | | NO LECHERO | FE | CH ₄ | 66,29 | 82,39 | 8 | 10 | 12,81 | 62,595 | 0,7705 | 5,124 | 7,71 | 57,967 | 58,477 |
| | | | ME | CH ₄ | 1,34 | 1,67 | 8 | 10 | 12,81 | 1,269 | 0,0165 | 0,104 | 0,17 | 1,175 | 1,187 |
| | JOVEN | FE | CH ₄ | 78,02 | 96,96 | 8 | 10 | 12,81 | 73,667 | 0,9001 | 6,030 | 9,00 | 68,220 | 68,811 | |
| | | ME | CH ₄ | 1,84 | 2,29 | 8 | 10 | 12,81 | 1,742 | 0,0226 | 0,143 | 0,23 | 1,614 | 1,629 | |
| | BUEY | FE | CH ₄ | 10,08 | 12,54 | 8 | 10 | 12,81 | 9,526 | 0,1218 | 0,780 | 1,22 | 8,821 | 8,905 | |
| | | ME | CH ₄ | 0,23 | 0,30 | 8 | 10 | 12,81 | 0,225 | 0,0034 | 0,018 | 0,03 | 0,209 | 0,211 | |
| | TOTALES | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 16,08 | 16,86 | | | | 20,448 | | | | | 20,227 |

ANEXO 9. Sumatoria de incertidumbres totales

| | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TIERRAS ALTAS | 35,0 | 35,1 | 35,3 | 35,8 | 35,6 | 35,7 | 36,0 | 36,1 | 36,3 | 36,7 |
| VALLES | 68,8 | 69,0 | 69,3 | 69,5 | 69,7 | 70,0 | 70,5 | 71,0 | 71,8 | 72,6 |
| TIERRAS BAJAS | 336,8 | 342,4 | 349,9 | 358,9 | 368,8 | 385,8 | 394,2 | 402,4 | 409,3 | 418,6 |
| TOTALES | 440,6 | 446,6 | 454,5 | 464,2 | 474,2 | 491,4 | 500,7 | 509,5 | 517,4 | 527,8 |

ANEXO 13. Emisiones de gases de metano por regiones categorizadas.



ANEXO 10. Número de cabezas de ganado bovino por año, según grupo de edades y sexo

| EDAD Y SEXO | 2013 (p) | 2014 (p) | 2015 (p) | 2016 (p) | 2017 (p) |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| TOTAL | 8.642.960 | 8.798.354 | 8.948.602 | 9.119.344 | 9.304.572 |
| MACHOS | 2.898.557 | 2.957.774 | 2.964.240 | 3.097.363 | 3.193.636 |
| HEMBRAS | 5.744.403 | 5.840.580 | 5.984.362 | 6.021.981 | 6.110.936 |
| MENORES A 1 AÑO | 1.856.443 | 1.763.032 | 1.930.928 | 1.855.197 | 1.908.102 |
| Machos | 862.628 | 823.699 | 880.467 | 865.153 | 889.541 |
| Hembras | 993.815 | 939.333 | 1.050.461 | 990.044 | 1.018.561 |
| DE 1 A 2 AÑOS | 1.763.466 | 1.633.500 | 1.646.717 | 1.788.437 | 1.806.157 |
| Machos | 798.974 | 726.887 | 705.903 | 797.988 | 804.205 |
| Hembras | 964.492 | 906.613 | 940.814 | 990.449 | 1.001.952 |
| MAYORES DE 2 A 3 AÑOS | 1.502.442 | 1.641.425 | 1.680.121 | 1.706.795 | 1.744.864 |
| Machos | 571.890 | 617.388 | 643.374 | 641.360 | 656.649 |
| Hembras | 930.552 | 1.024.037 | 1.036.747 | 1.065.435 | 1.088.215 |
| MAYORES A 3 AÑOS | 3.340.313 | 3.577.917 | 3.512.128 | 3.570.003 | 3.646.768 |
| Machos | 484.769 | 607.320 | 555.788 | 593.950 | 644.560 |
| Hembras | 2.855.544 | 2.970.597 | 2.956.340 | 2.976.053 | 3.002.208 |
| Bueyes | 180.296 | 182.480 | 178.708 | 198.912 | 198.681 |

ANEXO 11. Porcentaje de fermentación entérica

| Región | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tierras altas | Lechero | 46,0 | 46,0 | 46,0 | 46,0 | 46,0 | 46,0 | 46,0 | 46,0 | 46,0 | 46,0 |
| | No lechero | 23,2 | 23,2 | 23,2 | 23,2 | 23,2 | 23,2 | 23,2 | 23,2 | 23,2 | 23,2 |
| | Joven | 21,3 | 21,3 | 21,3 | 21,3 | 21,3 | 21,3 | 21,3 | 21,3 | 21,3 | 21,3 |
| | Buey | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 |
| Valle | Lechero | 47,7 | 47,7 | 47,7 | 47,7 | 47,7 | 47,7 | 47,7 | 47,7 | 47,7 | 47,7 |
| | No lechero | 21,8 | 21,8 | 21,8 | 21,8 | 21,8 | 21,8 | 21,8 | 21,8 | 21,8 | 21,8 |
| | Joven | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 |
| | Buey | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 |
| Tierras bajas | Lechero | 52,9 | 52,9 | 52,9 | 52,9 | 52,9 | 52,9 | 52,9 | 52,9 | 52,9 | 52,9 |
| | No lechero | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 20,2 |
| | Joven | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 |
| | Buey | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 |

ANEXO 12. Porcentaje de manejo de estiércol

| Región | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tierras altas | Lechero | 44,9 | 44,9 | 44,9 | 44,9 | 44,9 | 44,9 | 44,9 | 44,9 | 44,9 | 44,9 |
| | No lechero | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 |
| | Joven | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| | Buey | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 |
| Valle | Lechero | 52,8 | 52,8 | 52,8 | 52,8 | 52,8 | 52,8 | 52,8 | 52,8 | 52,8 | 52,8 |
| | No lechero | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 19,5 |
| | Joven | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 18,8 |
| | Buey | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 |
| Tierras bajas | Lechero | 60,9 | 60,9 | 60,9 | 60,9 | 60,9 | 60,9 | 60,9 | 60,9 | 60,9 | 60,9 |
| | No lechero | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 |
| | Joven | 21,0 | 21,0 | 21,0 | 21,0 | 21,0 | 21,0 | 21,0 | 21,0 | 21,0 | 21,0 |
| | Buey | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 |