



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

T E S I S

**ESTIMACIÓN DEL GAS METANO GENERADO POR EL
GANADO VACUNO EN EL DISTRITO
DE MOQUEGUA 2019**

PRESENTADO POR

BACHILLER ELVIS PABLO CHACHAQUE QUISPE

ASESOR:

DR. EDGAR VIRGILIO BEDOYA JUSTO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

MOQUEGUA – PERÚ

2020

CONTENIDO

	Pág.
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Contenido.....	iv
CONTENIDO DE TABLAS.....	viii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	xi
CONTENIDO DE ECUACIONES.....	xiii
CONTENIDO DE APÉNDICES.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema.....	1
1.2 Definición del problema.....	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.4.1 Económica.....	4

1.4.2 Social	4
1.4.3 Ambiental	4
1.5 Alcances y limitaciones	5
1.5.1 Alcances.....	5
1.5.2 Limitaciones	5
1.6 Variables	6
1.6.1 Variable independiente	6
1.6.2 Variables intervinientes	6
1.6.3 Operacionalización de variables	6
1.7 Hipótesis de la investigación	7
1.7.1 Hipótesis general	7
1.7.2 Hipótesis específicas.....	8

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación	9
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	9
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	10
2.1.3 Antecedentes regionales	11
2.2 Bases teóricas.....	12
2.2.1 Revisión de literatura.....	12
2.2.2 Marco normativo y político.....	33
2.3 Definición de términos.....	37

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 Tipo de la investigación	39
3.2 Diseño de la investigación	39
3.2.1 Diseño de investigación descriptivo.	39
3.2.2 Elección del método para la caracterización del ganado vacuno.	40
3.2.3 Elección del método para las resultantes de la fermentación entérica.....	41
3.2.4 División de la investigación.	42
3.2.5 Campo de verificación.....	43
3.2.6 Características registradas en el ganado vacuno.....	45
3.2.7 Características registradas de la gestión del alimento.	48
3.2.8 Factores del estudio.	49
3.2.9 Aplicación del software IPCC 2006.	53
3.3 Población y muestra	54
3.3.1 Población.	54
3.3.2 Muestra.	55
3.4 Descripción de instrumentos para recolección de datos	58

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados	60
4.1.1 Factores intrínsecos del ganado vacuno.	60
4.1.2 Factores extrínsecos.....	69
4.1.3 Fermentación entérica del ganado vacuno.....	72
4.1.4 Emisiones totales.	89

4.2	Contrastación de hipótesis	91
4.2.1	Hipótesis general.	91
4.2.2	Hipótesis específicas.....	91
4.3	Discusión de resultados.....	92

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	101
5.2	Recomendaciones.....	103
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
	APÉNDICES.....	114
	MATRIZ DE CONSISTENCIA	175
	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	176

CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de las variables de estudio.....	7
Tabla 2. Superficie de unidades agropecuarias por ámbito distrital y regional	13
Tabla 3. Perú: Población de vacunos, 2013-2018 (unidades)	14
Tabla 4. Comparación de la población de ganado a nivel nacional y regional por razas	14
Tabla 5. Producción pecuaria en proyección desde el 2011 al 2018	15
Tabla 6. Coeficientes de la actividad correspondientes a la situación alimentaria de los animales.....	16
Tabla 7. Digestibilidad alimentaria representativa de las distintas categorías de ganado	17
Tabla 8. Concentración de los principales gases de efecto invernadero.	17
Tabla 9. Los gases de efecto invernadero, sus fuentes y su contribución al calentamiento global.	19
Tabla 10. Proyección de emisiones de gases de efecto invernadero.....	20
Tabla 11. Fuentes de emisión GEI del sector agricultura, en Gg de CO ₂ eq	23
Tabla 12. Composición de emisiones del sector agropecuario en porcentajes	24
Tabla 13. Composición de la leche	47
Tabla 14. Resumen de los indicadores a usar para la obtención de la energía bruta (EB)	52
Tabla 15. Población pecuaria referente al ganado vacuno	54
Tabla 16. Puntos de muestreo en el valle de Moquegua	57
Tabla 17. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	58

Tabla 18. Categorías de ganado vacuno.....	60
Tabla 19. Datos promedio de ganado lechero en el sistema de alimentación semi estabulado	61
Tabla 20. Datos promedio del ganado lechero en el sistema de alimentación extensivo	62
Tabla 21. Datos promedio del ganado en crecimiento en el sistema de alimentación semi-estabulado.....	63
Tabla 22. Datos promedio del ganado en crecimiento en el sistema de alimentación extensivo	64
Tabla 23. Datos promedio del ganado maduro en el sistema de alimentación semi estabulado	64
Tabla 24. Datos promedio del ganado maduro en el sistema de alimentación extensivo.....	65
Tabla 25. Coeficientes del IPCC para el ganado vacuno del sistema de alimentación semi estabulado.....	66
Tabla 26. Coeficientes del IPCC para el ganado vacuno del sistema de alimentación extensivo	67
Tabla 27. Indicadores de la Ingesta diaria promedio de alimento.....	69
Tabla 28. Resumen del resultado de indicadores de la Ingesta diaria promedio de alimento aplicando el software IPCC 2006 en el sistema de alimentación semi estabulado.....	70
Tabla 29. Resumen del resultado de indicadores de la Ingesta diaria promedio de alimento aplicando el software IPCC 2006 en el sistema de alimentación extensivo	71

Tabla 30. Digestibilidad para el ganado vacuno en condiciones del valle de Moquegua	72
Tabla 31. Digestibilidad vs. Y_m	74
Tabla 32. Resumen de modelo y estimaciones de parámetro en Y_m	75
Tabla 33. Determinación del factor de emisión CH_4 en vacas lecheras en producción	78
Tabla 34. Determinación del factor de emisión CH_4 en vacas lecheras en seca...	79
Tabla 35. Determinación del factor de emisión CH_4 en vaquillonas	81
Tabla 36. Determinación del factor de emisión CH_4 en vaquillas	82
Tabla 37. Determinación del factor de emisión CH_4 en terneras.....	83
Tabla 38. Determinación del factor de emisión CH_4 en toretes.....	85
Tabla 39. Determinación del factor de emisión CH_4 en toros.....	86
Tabla 40. Resumen de los promedios del factor de emisión CH_4 por subcategoría de ganado vacuno	87
Tabla 41. Resumen de las emisiones de CH_4 obtenidas por categoría mediante el software IPCC 2006.....	89
Tabla 42. Datos por región del factor de emisión del IPCC en un nivel 2.....	97
Tabla 43. Comparación de resultados del estudio por niveles	98

CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo de datos de inventario básico	28
Figura 2. Módulos del software	28
Figura 3. Software IPCC 2006 (versión 2,69).....	30
Figura 4. Diagrama de fases de intervención de la investigación	42
Figura 5. Mapa de ubicación del Valle de Moquegua	44
Figura 6. Mapa de muestreo en el Valle del distrito de Moquegua.	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 7. Comparación de la relación del factor de conversión Y _m (%) vs. Digestibilidad DE (%)	76
Figura 8. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH ₄ respecto a las vacas lecheras en producción	79
Figura 9. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH ₄ respecto a las vacas lecheras en seca	80
Figura 10. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH ₄ respecto a las vaquillonas	81
Figura 11. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH ₄ respecto a las vaquillas	83
Figura 12. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH ₄ respecto a las terneras.....	84
Figura 13. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH ₄ respecto a los toretes	85

Figura 14. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH ₄ respecto a los toros	87
Figura 15. Resumen de los promedios del factor de emisión de CH ₄ por cada categoría de ganado vacuno	88
Figura 16. Comparación de los promedios del factor de emisión y las emisiones de CH ₄ por sistema de alimentación	90

CONTENIDO DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Regresión cuadrática	50
Ecuación 2. Tamaño de la muestra	55
Ecuación 3. Regresión polinómica para Y_m	76

CONTENIDO DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice A. Panel fotográfico.....	114
Apéndice B. Registro de datos en campo.....	123
Apéndice C. Constantes y coeficientes del IPCC	134
Apéndice D. Resultados del software IPCC 2006 versión 2,69.....	137
Apéndice E. Figuras	165

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene el objetivo de estimar los niveles de gas metano generado por el ganado vacuno en el ambiente del distrito de Moquegua, mediante las directrices del modelo IPCC aplicando el software versión 2,69. Para tal efecto se aplicó una encuesta y entrevistas a 22 productores de cuatro sectores del valle (La Rinconada, Omo, Santa Rosa, Estuquiña). Así mismo se determinó el factor intrínseco para obtener datos fisiológicos entre categorías (lechero, crecimiento, otro), población del ganado vacuno (425 cabezas), peso ($61,7 \pm 575$ kg), producción de leche ($20,71 \pm 24,65$ kg/día), digestibilidad (64 y 55 %), y para los factores extrínsecos se ha sumado los indicadores de la ingesta diaria (energías netas) promedio del alimento para obtener la energía bruta (EB) en ambos sistemas en rangos de mínimo ($50,39 \pm 62,58$ Mj/día) y máximo ($357,22 \pm 445,93$). De la misma forma se ha determinado el factor de emisión (FE) anual (kg CH₄/cabeza/año) distribuido por subcategorías (vaca lechera en producción y seca, vaquillona, vaquilla, ternera, torete, toro) en los dos sistemas de alimentación con valores de ($14,088 \pm 191,865$). Para los resultados de las emisiones totales se expresó en Gg CH₄/año asociada en cada categoría, se ha comparado ambos sistemas obteniéndose de la siguiente manera 0,0186 y 0,0221 con un total de 0,0407; permite concluir que existe una tendencia mayor en el sistema extensivo frente al semi estabulado, el dato final de la estimación fue expresado en Gigagramos de dióxido de carbono equivalente a 0,81 GgCO₂e como aporte al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI).

Palabras clave: Estimar, gas metano, vacuno, IPCC, fermentación entérica, INGEl.

ABSTRACT

The objective of this research work is to estimate the methane gas levels generated by cattle in the Moquegua district environment, using the IPCC model guidelines applying version 2,69 software. For this purpose, a survey and interviews were applied to 22 producers from four sectors of the valley (La Rinconada, Omo, Santa Rosa, Estuquiña). Likewise, the intrinsic factor was determined to obtain physiological data between categories (dairy, growth, other), cattle population (425 heads), weight ($61,7 \pm 575$ kg), milk production ($20,71 \pm 24,65$ kg / day), digestibility (64 and 55 %), and for the extrinsic factors, the indicators of the average daily intake (net energy) of the feed have been added to obtain the gross energy (EB) in both systems in ranges of minimum ($50,39 \pm 62,58$ MJ / day) and maximum ($357,22 \pm 445,93$). In the same way, the annual emission factor (FE) (kg CH₄ / head / year) distributed by subcategories (dairy cow in production and dry, heifer, heifer, calf, bull, bull) in the two feeding systems has been determined. with values of ($14,088 \pm 191,865$). For the results of the total emissions, it was expressed in Gg CH₄/ associated year in each category, both systems have been compared obtaining as follows 0,0186 and 0,0221 with a total of 0,0407; It allows to conclude that there is a greater trend in the extensive system compared to the semi-stall system, the final data of the estimate was expressed in Gigagrams of carbon dioxide equivalent to 0,81 GgCO_{2e} as a contribution to the National Inventory of Greenhouse Gases (INGEI).

Key words: Estimate, methane gas, livestock, IPCC, enteric fermentation, INGEl.

INTRODUCCIÓN

El aumento de Gases de Efecto Invernadero (GEI) genera el Calentamiento Global considerando a tres principales concentraciones de gases producto de las actividades antropogénicas como las de mayor impacto, como el dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄), este último siendo el producto final de la fermentación entérica. En los últimos años los niveles de emisión de metano producto de la de la actividad rumiante de los animales va en aumento es por ello que ha tomado importancia debido a los efectos negativos al ambiente, la economía y a la salud de la persona.

Así mismo, cabe precisar que el Perú en el 2002 reafirma su compromiso al sumarse al protocolo de Kioto y en el 2016 manteniendo su consigna firma el acuerdo de Paris, con el interés fijado en la reducción de hasta el 30 % de los GEI al 2030. Si bien es cierto que el país a través del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) como instrumento de control para calcular las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC, siglas en inglés) emite comunicaciones referentes a las emisiones de los sectores la cual es rescatable sin embargo no es estricta respecto a la información de campo basado en la realidad ganadera que permita cumplir a cabalidad dichos objetivos y esto se ve reflejado en el comparativo de cifras entre datos del estado y las investigaciones de (Alvarado, 2018), (Puente de la Vega, 2015), (Vizcarra, 2012).

En tal sentido, en la región los estudios que determinen cantidades de emisión o la estimación propiamente dicha son escasos; por tal motivo, y atendiendo a la situación señalada en los párrafos anteriores, es que en la presente

investigación se ha estimado los niveles de la emisión de gas metano generado por el ganado vacuno durante su actividad rumiante producto de la fermentación entérica a través de la aplicación de las directrices mediante el uso del software IPCC 2006 versión 2,69 la cual representa actualmente el principal procedimiento de estimación de gas atmosférico.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema

En los últimos decenios el incremento de metano en la atmósfera ha sido variable, las concentraciones de CH₄ fueron relativamente estables alrededor de la década de 1990, pero volvieron a aumentar a partir de 2007, no se sabe aun exactamente qué factores impulsaron este nuevo incremento. El sector de la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU) es responsable de alrededor de un cuarto (10 – 12 %) de las emisiones antropogénicas de GEI netas principalmente procedentes de las emisiones agrícolas de los suelos, la gestión de nutrientes y la ganadería (IPCC, 2013).

A su vez, Gerber et al. (2013) y Pinares et al. (2009) señalan que el ganado vacuno es responsable de la mayoría de las emisiones de gases atmosféricas inducidas por el ser humano, considerándose al subsector ganadero como una de las actividades que inciden al cambio climático, producto del gas que eliminan los animales como parte de su proceso digestivo, expresado como pérdida de energía que afecta la productividad animal y a la salud ambiental con unas emisiones

estimadas en 7,1 giga toneladas (GT) de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) por año, reforzada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013 quien afirma que la producción de carne y leche contribuyen con el 41 y el 29 % respectivamente, además la elaboración de piensos emite un 45 %, la fermentación entérica un 39 %, finalmente el almacenamiento y elaboración del estiércol representan el 10 %.

Además la intensidad de emisión varía ampliamente entre regiones geográficas y sistemas de producción, en un intervalo de 10 años (2000 – 2010) las tasas de metano se han disparado en un 8,4 % respecto a las emisiones por digestión, así mismo las relacionadas con el manejo de estiércol en un 36,7 % las cifras mencionadas engloban al ganado rumiante; eso quiere decir que en el 2016 el CH₄ ha proyectado un 16 % de aumento, en ese sentido, está considerado según diversas fuentes como uno de los principales generadores de dicho gas, emiten entre 7 – 9 veces más que ovinos y caprinos (Shibata y Terada, 2010).

Ante esta situación, Yañez y Gualdrón (2014) citado por Delgado (2018) refiere que es fundamental que cada individuo, organización esté involucrado en planear y tomar un enfoque estratégico para combatirlo, y verificando la escasa información precisa de investigaciones enfocadas a la estimación de CH₄ emitido por el ganado es que se propone estimar los niveles de emisión de gas metano generado por el ganado vacuno en las diferentes categorías aplicando las directrices del IPCC en un nivel 2 precisando el inventario y reduciendo la incertidumbre con el afán de contribuir a la región en el sector pecuario, por lo que considero conveniente y oportuno su estudio, para ser una base de investigaciones futuras, que busquen como fin último medidas idóneas para aminorar sus efectos.

1.2 Definición del problema

1.2.1 Problema general.

¿Cuáles son los niveles de gas metano generado por el ganado vacuno en el ambiente del distrito de Moquegua?

1.2.2 Problemas específicos.

¿Cómo los factores intrínsecos del ganado vacuno influyen en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua?

¿Cómo los factores extrínsecos del ganado vacuno influyen en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua?

¿Cómo la fermentación entérica del ganado vacuno influye en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Estimar los niveles de gas metano generado por el ganado vacuno en el ambiente del distrito de Moquegua.

1.3.2 Objetivos específicos.

Describir los factores intrínsecos del ganado vacuno influyentes en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua.

Determinar los factores extrínsecos del ganado vacuno influyente en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua.

Determinar la fermentación entérica del ganado vacuno influyente en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua.

1.4 Justificación

1.4.1 Económica

De ser factible es preciso señalar que al obtener los niveles de CH₄ en el sector pecuario de nuestro distrito, aporta en información inicial para su posterior captura y su utilización generando ingresos económicos, a partir de una combustión limpia dirigida a las comunidades locales, desarrollando proyectos que aprovechen estas oportunidades del gas atmosférico procedentes de la actividad rumiante, con el objeto de lograr beneficios relacionados con el clima, la economía y la salud pública.

1.4.2 Social

La información proporcionada a los productores ganaderos, bajo el énfasis respecto a que cualquier actividad humana siempre se halla acompañada de algún impacto permitió sensibilizar sobre su relación de la ganadería con el calentamiento global en base a los sistemas de alimentación existentes (semi estabulado y extensivo), en primera instancia para que opten por un sistema que coadyuve a aplicar técnicas para una mejor producción y una reducción en emisión.

1.4.3 Ambiental

El presente estudio de investigación busca cuantificar la emisión de CH₄ generado por el ganado vacuno a nivel local ya que es necesario que se realice un estudio detallado y concreto en cada departamento debido a que los indicadores de producción, económicos y ambientales no se desarrollan en la misma intensidad,

por ello es de importancia conocer con mayor precisión la cantidad de gas metano que se emite en el ámbito distrital, para establecer un inventario basado en una evidencia científica que al plantear pueda permitir optimizar los procesos de producción.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

El estudio tiene como alcance cuantificar la emisión de gas metano respecto a la cantidad de ganado vacuno, aplicando las guías y directrices emitidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) 2006 del software versión 2,69 en condiciones climáticas del valle de Moquegua.

Los aspectos específicos que vislumbra la investigación es respecto a la caracterización del vacuno por medio de los factores intrínsecos (categorías, peso, población media anual, cantidad de leche) luego del cálculo de la suma de energías netas para la obtención de la energía bruta (EB) como parte de los factores extrínsecos (ingesta promedio de alimentos) para así obtener la fermentación entérica (digestibilidad, factor de conversión, factor de emisión) por cabeza de ganado vacuno en un año considerándose como línea base para proyectos de desarrollo destinados a mejorar el clima, la economía, la salud pública; ruta para establecer estrategias de intervención a nivel local.

1.5.2 Limitaciones

La escasa información bibliográfica respecto al uso de los guías y directrices emitidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, 2006, utilizando el software IPCC 2006 versión 2.69, se convierte en una limitante. Por otro lado,

existe supuestos intervinientes de estudios en relación a la poca predisposición de los productores ganaderos de ambos sistemas. Además, in situ, los mecanismos y herramientas para el recojo de las muestras para estimar las emisiones de gas metano, se torna complejo debido a la dispersión de los sistemas de producción.

1.6 Variables

1.6.1 Variable independiente

Emisión de gas metano generado por el ganado vacuno.

1.6.2 Variables intervinientes

Factores intrínsecos del ganado vacuno.

Factores extrínsecos del ganado vacuno.

Fermentación entérica del ganado vacuno.

1.6.3 Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables se observa en la Tabla 1.

Tabla 1*Operacionalización de las variables de estudio*

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO E INSTRUMENTO
Independiente: Emisión de gas metano generado por el ganado vacuno	Fermentación entérica	Emisiones totales	Gg CH ₄ / año Gg CO ₂ e	Método: Software IPCC 2006 versión 2,69 nivel 2 (IPCC, 2006). Instrumento: Ficha de registro de datos.
Interviniente: Factores intrínsecos del ganado vacuno	Caracterización del ganado vacuno	Definiciones para categorías de ganado	Sub categorías Kg Kg/día °C L/día Edad %	Método: Software IPCC 2006 versión 2,69 nivel 2 (IPCC, 2006). Instrumento: Ficha de registro de datos. Ficha de observación.
Interviniente: Factores extrínsecos del ganado vacuno	Ingesta de alimentos (comportamiento y dieta animal)	Energía bruta (EB)	MJ/día % Kg CH ₄ /cabeza / año	
Interviniente: Fermentación entérica del ganado vacuno	Digestibilidad	Factor de conversión en metano (Y _m) Factor de emisión CH ₄ para cada categoría de animales	% Kg CH ₄ /cabeza / año	Método: ecuaciones de regresión usando el IBM SPSS versión 25. Método: Software IPCC 2006, versión 2,69 nivel 2 (IPCC, 2006). Instrumento: Ficha de registro de datos. Ficha de observación.

1.7 Hipótesis de la investigación

1.7.1 Hipótesis general.

Es posible estimar los niveles de gas metano generado por el ganado vacuno en el ambiente del distrito de Moquegua.

1.7.2 Hipótesis específicas.

Los factores intrínsecos del ganado vacuno influyen en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua.

Los factores extrínsecos del ganado vacuno influyen en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua.

La fermentación entérica del ganado vacuno influye en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales.

Donney's (2015) en su trabajo denominado *Evaluación de las emisiones entéricas de metano en vacas lecheras bajo trópico alto con o sin la inclusión de botón de oro (Tithonia diversifolia)*, realizado en la región de Antioquia, Colombia; tuvo como objetivo el de determinar las emisiones entéricas asociadas a un sistema de producción de leche en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi) con *Tithonia diversifolia* y un sistema tradicional bajo condiciones de trópico de altura. Se usó la técnica politúnel, donde la unidad experimental fueron 4 vacas en producción de leche. El resultado fue la emisión promedio por cada animal de 285 litros CH₄/día en el tratamiento que solo contenía gramíneas y de 369 litros CH₄/día para el tratamiento con botón de oro (SSP), siendo los SSPi con Botón de oro el que aumenta el consumo de materia seca y de nutrientes de la dieta total.

Por otro lado, Zúñiga (2016) en su trabajo titulado *Estimación de las emisiones en bovinos en los sistemas de producción lechera en pequeña escala a*

través del factor de conversión de metano, realizado en el Cerrillo Piedras Blancas Toluca, Estado de México; donde se diseñó y aplicó una encuesta a 21 unidades de producción lechera mensual durante un año (2012 – 2013) para obtener: el estado fisiológico del hato ganadero, características de las dietas consumidas y las necesidades energéticas, aplicando las directrices en su nivel 2. Para obtener la energía bruta, se utilizaron las ecuaciones del IPCC (2006). Los resultados obtenidos fueron 21 unidades de producción lecheras evaluadas emitiéndose un total de 39 241,79 Gg CH₄/año, siendo las vacas en producción las que emite mayor cantidad de CH₄ entérico a la atmósfera.

Luque (2016) en su trabajo de investigación *El gas metano y su relación con las actividades ganaderas*, realizado en la provincia de Manabí, Ecuador, en su objetivo determina la relación existente entre la cantidad de ganado bovino y las emisiones de metano, en un periodo de estudio de diez años. Se sustentó en las guías y directrices emitidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, utilizando el software IPCC 2006 versión 2,10. Los resultados demostraron que las emisiones de CH₄ son considerablemente elevadas 531,68 Gg de CH₄ entendiéndose que los niveles de emisión en fermentación entérica fueron de 287,724 Gg de CH₄, mientras que para el manejo del estiércol fue de 7,217 Gg de CH₄.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Vilca (2015) en su trabajo de investigación denominado *Efecto del concentrado fibroso sobre las emisiones de metano entérico (CH₄) en vacas lecheras; realizado en la estación experimental ILLPA del Instituto de Innovación Agraria (INIA) de*

Puno, tuvo como objetivo estimar y medir las emisiones de metano entérico (CH₄) en vacas lecheras. La metodología de estimación se realizó mediante modelos de predicción a partir del consumo de materia seca, el contenido de fibra detergente neutra y extracto etéreo en la dieta, datos que fueron evaluados en una cámara de respiración. Los resultados indican que las emisiones de metano entérico en vacas suplementadas son menores respecto a las vacas en control (311,48 vs. 340,08) gramos CH₄/ día por vaca, en tal sentido en la estimación de metano entérico las vacas de control emitieron menor cantidad que vacas suplementadas con concentrado respectivamente (325,25 vs 368,67) g/d.

Por otro lado, con respecto a los GEI en ganadería vacuno, Ruiz (2018) en su trabajo titulado *Emisión de Gases de Efecto Invernadero en los Sistemas de producción Bovina Fleckvieh*; realizado en las provincias de Chachapoyas, Bongará, Utcubamba y Rodríguez Mendoza, de Amazonas tuvo como objetivo la evaluación de la emisión de GEI en sistemas de producción bovina de la raza Fleckvieh. Se utilizó la metodología del Consejo Nacional de Investigación NRC (2001) y del Nivel 2 del IPCC, 2006. Los resultados de este estudio indican que existen 10 sistemas diferentes de producción bovina Fleckvieh y que la emisión total de CO₂-eq por litro de leche en promedio fue de 3,26 y 3,96 kg para las épocas lluviosa y seca respectivamente, se considera que es uno de los motivos por lo que las emisiones son bajas con respecto a otros estudios.

2.1.3 Antecedentes regionales

Vizcarra (2012) en su trabajo *Estimación de la emisión de metano producida por la ganadería de vacunos bajo condiciones del valle de Moquegua*; estimó la

emisión de metano producido por la ganadería de vacunos lecheros, por medio de la alimentación mixta y extensiva aplicando ecuaciones numéricas del IPCC con valores predeterminados de Ym (%) y la digestibilidad (DE). Los resultados obtenidos fueron para el sistema mixto 148,55 kg por vaca/año y para el extensivo 151,34 kg por vaca/año, respecto a la emisión de gas metano en la producción de leche fueron en el sistema mixto 0,023 kg/CH₄ por cada kg de leche producida y en el sistema extensivo 0,041 kg/CH₄ por cada kg de leche producida, finalmente se observó que el sistema extensivo es mucho más contaminante, lo cual se deberían principalmente a la calidad y cantidad del sistema mixto.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Revisión de literatura.

2.2.1.1 Descripción del sector agropecuario.

2.2.1.1.1 Sistema agropecuario en la región Moquegua.

Las unidades ganaderas en el distrito de Moquegua en porcentajes similares siguen un sistema de alimentación semi estabulado y mixto básicamente que pueden ofrecer en forma natural, seca y conservada, alfalfa, ensilaje de maíz, concentrado. En el año 2017, la superficie de unidades agropecuarias en la región Moquegua ascendió a 50 458 952 Has., asimismo en el distrito de Moquegua asciende a 5 750,86 Has., que representa un 1,13 % del total de superficie de unidades agropecuarias del territorio Moqueguano (Gerencia Regional de Agricultura [GRA], 2017).

Tabla 2*Superficie de unidades agropecuarias por ámbito distrital y regional*

Unidades agropecuarias por distrito	Superficie (has.)
Departamento de Moquegua	50 458 952
Dist. Moquegua	5751

Fuente: GRA, 2017

Dadas las características geográficas y la disponibilidad de pastos de forraje (alfalfa), una buena cantidad de pobladores moqueguanos se dedican a las actividades pecuarias. La región es productora de ganado vacuno, ovinos, alpacas, llamas y cuyes, y la actividad lechera y sus derivados. La producción pecuaria se desarrolla principalmente en los valles de Moquegua, Carumas, Puquina, Omate y Torata (Valcárcel, 2011).

2.2.1.1.2 Ganado vacuno.

Según Cárdenas (2004) el sector agropecuario, dentro de las cuales el ganado vacuno constituye una de las especies animales de interés en nuestro país, su importancia económica, permite la generación de ingresos a partir de la venta de carne, leche, quesos y otros derivados. Según Kendall y Rodríguez (2009) en su estudio señala que la llegada de las primeras especies, fueron ubicadas y dispersadas por todo el territorio nacional, bajo distintas condiciones de clima, altitud territorial y otros. Sin embargo, debido a la escasez de alimentos, las inclemencias del medio ambiente durante ciertas épocas, alta consanguinidad y las enfermedades, trajeron como consecuencia el empequeñecimiento del ganado y mermaron el rendimiento, dando origen al "ganado criollo" el cual constituye un recurso genético importante para nuestro país. La población ganadera según el anuario estadístico de la

producción pecuaria y avícola del 2018 a nivel nacional es de 5 575 483 unidades, y de 896 710 unidades de vacas en ordeño en ese contexto a nivel Moquegua es de 23 571 unidades de vacuno, y de 5428 vacas en ordeño.

Tabla 3

Perú: Población de vacunos, 2013-2018 (unidades)

Región	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Total, Nacional	5 555 988	5 577 959	5 553 470	5 525 454	5 535 569	5 575 483
Moquegua	26 180	22 631	22 850	23 993	23 870	23 571

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2018

2.2.1.1.3 Producción ganadera en la región Moquegua.

Según las cifras registradas del Censo Agropecuario 2012, para ese año se registran 5156 unidades de ganado vacuno, un 14,7 % más que el censo agropecuario del 1994. Según estas cifras se determinó que la raza predominante es la de criollos, representando el 63,71 % del total de la distribución, seguida por la raza Holstein con 27,7 %, otras razas con 5,63 %, Brown Swiss con 2,84 %, Gyr/Cebú con 0,34 % y bueyes con 0,31 % (INEI, 2012).

Tabla 4

Comparación de la población de ganado a nivel nacional y regional por razas

población de ganado vacuno nacional por razas							
Localidad	Total	Holstein	Brows Swiss	Gyr/Cebú	Criollos	Otras Razas	Bueyes
Nacional	5 156 044	527 533	904 069	171 765	3 276 799	245 577	30 301
Moquegua	26 303	7146	746	90	16 757	1482	82

Fuente: INEI, 2012

Nota: los datos de la tabla son del 2009 al 2012.

La Gerencia Regional de Agricultura Moquegua según los Anuarios Estadísticos Agropecuarios, reportados señalan que la población pecuaria estimada desde el año 2013 al 2016 ha variado en disminución y un ligero aumento en el 2016 hasta el 2017 y en el 2018 un descenso, la población pecuaria de la Región Moquegua en el 2018, alcanzó un total de 21 522 unidades de ganado vacuno en toda la región, en la Provincia Mariscal Nieto un total de 8 883 y 6 270 unidades de ganado vacuno en el distrito de Moquegua, que representa el 24,24 % (GRA, 2018).

Tabla 5

Producción pecuaria en proyección desde el 2011 al 2018

Localidad	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
Región	21 522	29 594	24 298	22 881	22 631	25 197	26 051	26 624
Provincia Mariscal Nieto	8 883	11 922	10 963	9 740	9 743	10 783	9 801	10 930
Distrito Moquegua	6 270	7 247	6 131	5 336	5 336	5336	4 898	5 100

Fuente: GRA, 2018

Nota: Es una recopilación de los anuarios estadísticos (2011 al 2018).

2.2.1.1.4 Ingesta de alimentación diaria del ganado vacuno.

Un aspecto importante para la producción del ganado vacuno, es la alimentación. Los hábitos de consumo del ganado vacuno, se da mediante el consumo de alimentos (forraje y pastos) y agua los cuales deben darse en horarios fijos, de la calidad del forraje va a depender de varios factores como son: especie de la planta, clima, estado de madurez, etc. La crianza del ganado vacuno, puede incidir en el consumo de agua, tal es así que la crianza en los sistemas de producción de crianza en estabulado, puede alcanzar 30 a 60 litros diarios, dependiendo del peso de los animales, la humedad de las dietas y de la temperatura. Por otro lado, la temperatura y altitud donde está ubicada el ganado vacuno, incide en la alimentación del ganado

vacuno, en climas de temperatura elevada, el ganado vacuno prefiere comer al inicio de la mañana o al final de la tarde, en los climas más bajos prefieren comer al medio día.

Todos estos elementos son referidos a las directrices del IPCC (2006) ya que son necesarios para estimar el cálculo de las emisiones por fermentación entérica, ya que la interpolación entre las situaciones alimentarias puede necesitarse para asignar el coeficiente más apropiado de cada sub categoría de animal.

Tabla 6

Coefficientes de la actividad correspondientes a la situación alimentaria de los animales.

Situación	Definición	C_a
Vacunos y búfalos (la unidad para C_a no tiene dimensión).		
Compartimiento	Los animales están confinados en una pequeña superficie de lo que resulta que gastan muy poca o ninguna energía en procura de alimento.	0,00
Pastura	Los animales están confinados parcialmente en áreas con suficiente forraje, lo que exige un caso gasto de energía en procura de alimento.	0,17
Grandes superficies de pastoreo	Los animales pastan a campo abierto o en terrenos accidentados y gastan una cantidad significativa de energía en procura de su alimento.	0,36

Fuente: NRC, 1996

En cuanto a los rumiantes, los rangos habituales de digestibilidad de los alimentos son de 45 - 55 % para subproductos agrícolas y tierras de pastoreo; 55 - 75 % para buenas pasturas, forraje bien conservado y dietas basadas en granos complementados con forraje; y 75 - 85 % para dietas basadas en granos provistas en corral. El consumo de los forrajes, puede variar en media que aumenta la madurez del animal, habitualmente este se reduce durante la estación seca.

Tabla 7*Digestibilidad alimentaria representativa de las distintas categorías de ganado*

Categorías principales	Clase	Digestibilidad (DE%)
Vacunos y otros rumiantes	Animales de corral alimentados con >90 % de dieta concentrada.	75 – 85 %
	Animales alimentados con pasturas.	55 – 75 %
	Animales alimentados con forraje de baja calidad.	45 – 55 %

Fuente: IPCC, 2006

2.2.1.2 Gases de efecto invernadero (GEI) en el Perú.**2.2.1.2.1 Metano, fuente de emisión.**

El metano (CH₄) en la atmósfera ha aumentado rápidamente y se ha multiplicado por dos desde el comienzo de la era industrial, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático señala que el CH₄ tiene un potencial de calentamiento global de 23 veces superior al CO₂, es decir, que cada kilo de ese gas liberado a la atmósfera contribuye al calentamiento global relativo tanto como la emisión de 23 kg de CO₂, calculado para un horizonte temporal de 100 años (IPCC, 2006).

Tabla 8*Concentración de los principales gases de efecto invernadero.*

Gas	Concentraciones preindustriales	Concentraciones troposféricas (2008)	Potencial del calentamiento global*
Dióxido de Carbono	277 mg/L	386 mg/L	1
Metano	600 µg/L	1728 µg/L	23
Óxido nitroso	270 – 290 µg/L	318 µg/L	296

Fuente: Steinfeld, 2008

Nota: * = Potencial del calentamiento global directo (PCG) relativo al CO₂ en un horizonte temporal de 100 años, y éste depende de su capacidad de absorción, reflexión, radiación y del tiempo de duración del efecto.

2.2.1.2.2 Resultados INGEI.

Las emisiones de GEI en el sector agricultura se generan por diversas fuentes agrupadas por la actividad agrícola y pecuaria estimadas usando las GL 1996 y las OBP2000. Los gases identificados en este sector son: metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), las emisiones netas para el año 2014 como resultado al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), se reportaron en: 167 630,3 Giga gramos de dióxido de carbono equivalente (GgCO_2e). Las mayores emisiones fueron reportadas en el sector Uso de Suelos, Cambio de Uso de Suelos y Silvicultura (USCUSS), con 75 345,5 GgCO_2e , que representa el 44,95 %. El segundo sector con mayores emisiones reportadas fue Energía, con 50 331,2 GgCO_2e (30,02 %), Agricultura es el tercer sector con emisiones de 26 233,2 GgCO_2e (15,6 %), estos tres sectores representan el 90,57 % del total estimado en el Perú y complementan el 9,43 % el sector Desechos con 9 679,7 (5,77 %) y el sector de Procesos Industriales y Usos de Productos (PIUP) con 6 041 (3,6 %) (INGEI, 2014).

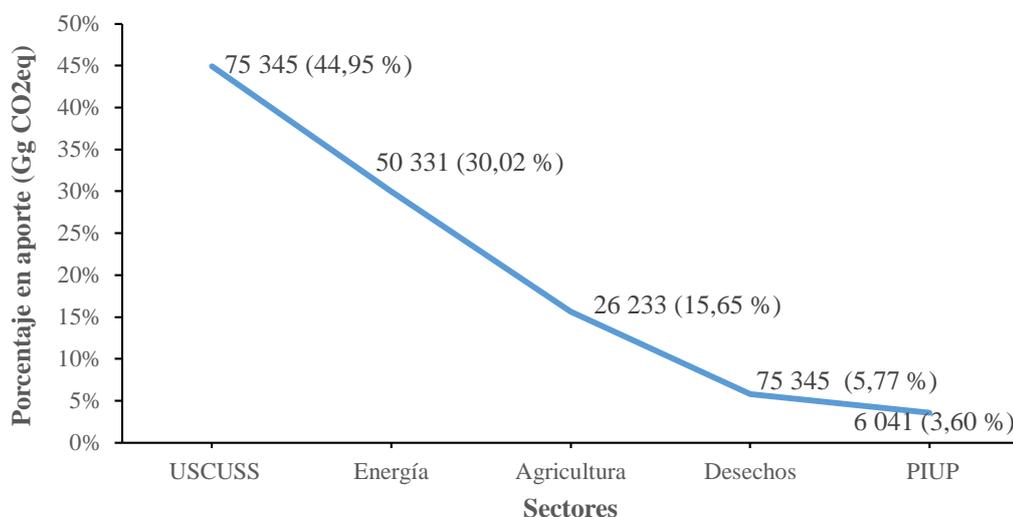


Figura 1. Distribución de las emisiones por sectores
Fuente: INGEI, 2014

2.2.1.3 La ganadería: un factor que contribuye al cambio climático.

El calentamiento global generado por el incremento de los GEI, es una de las más serias amenazas ambientales, sociales y económicas que actualmente enfrenta el planeta. Entre las actividades más relevantes en la emisión de gases de efecto invernadero están el uso de combustibles, los procesos de transformación en la industria, las actividades agrícolas y pecuarias, la disposición de residuos sólidos y la explotación de los bosques.

La alta concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, van originando impactos que se dan a través cambio de temperatura, eventos extremos, precipitaciones, sequías entre otros que afectan la economía y el desarrollo de los países. Por otro lado, la contribución de los GEI a nivel mundial y sus fuentes nos señalan que el 55 % de gases provienen de CO₂, el 24 % provienen del CFCs, el 15 % provienen de CH₄ y el 6 % provienen del N₂O (Yañez y Gualdrón, 2014) citado por (Delgado, 2018).

Tabla 9

Los gases de efecto invernadero, sus fuentes y su contribución al calentamiento global.

Gas	Fuentes principales	Tasa de aumento actual y concentración	Contribución al calentamiento global (%)
Dióxido de carbono (CO ₂)	Combustión de combustible fósil (77 %) Deforestación (23 %)	0,5 % (353 ppm)	55
Clorofluorocarbonos (CFCs) y gases afines (HFCs y HCFC)	Diversos usos industriales: refrigeradores, aerosoles de espuma, solventes	4 % (280 ppb)	24
Metano (CH ₄)	Arrozales Fermentación entérica fuga de gas	0,9 % (1.72ppm)	15
Óxido nitroso (N ₂ O)	Quema de Biomasa Uso de Fertilizantes Combustión de combustible fósil	0,8 % (310 ppm)	6

Fuente: Steinfeld, 2008

Según FAO (2013) precisa que la producción animal es una fuente importante de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, dependiendo del enfoque utilizado para la cuantificación y del tipo de emisiones estudiadas; diferentes instituciones (IPCC, FAO, EPA y otras) han calculado que la contribución del ganado a las emisiones mundiales de los GEI antropogénico representan entre el 7 y el 18 % de las emisiones totales.

El IPCC (2006) señala que el ganado contribuye con el cambio climático al emitir gases bien sea directamente (P. ej., a través de la fermentación entérica o el estiércol) o indirectamente (P. ej., por las actividades desarrolladas durante la producción de piensos y la conversión de bosques en pastizales). Se ha calculado, con base en el análisis del ciclo de vida (ACV), que el sector emite aproximadamente 7,1 Gt de CO₂-eq/año, o cerca del 18 % del total de las emisiones de los GEI antropogénicas (Steinfeld, 2008). Los resultados obtenidos de la proyección revelan que las emisiones en el Perú al año 2018 ascienden a 218,7 Gg de CO₂ eq., reflejando un incremento de 28,19 % con respecto al 2010, que se explica principalmente por el aumento en la producción, crecimiento poblacional, el cambio en la matriz energética, entre otros factores.

Tabla 10

Proyección de emisiones de gases de efecto invernadero.

Representación	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Perú	170,6	170,2	180,5	185,6	194,4	200,6	206,4	211,2	218,7

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2018

Nota: Los datos del cuadro anterior son proyecciones de emisiones de efecto invernadero.

2.2.1.3.1 *Producción de metano por fermentación entérica.*

El metano se produce cuando los microorganismos descomponen los carbohidratos en moléculas simples para la absorción en el flujo sanguíneo, esto a través de un proceso digestivo generando la fermentación entérica en los vacunos y la cantidad liberada depende del tracto digestivo del animal, y algunas características propias del animal (peso, edad, cantidad consumido), además se señala que el sistema digestivo tiene una influencia significativa en la tasa de emisión de metano, por parte de los animales rumiantes entre ellos el ganado vacuno, como se sabe ellos tienen una cámara expansiva (rumen), donde se produce una fermentación microbiana intensiva de su dieta (IPCC, 2006).

La producción de metano por parte de los microorganismos del rumen se estima entre 300 y 600 L al año en ganado adulto, esto representa alrededor de 80 a 110 millones de toneladas al año. Las bacterias productoras de metano son las *archaea* las cuales constituyen un grupo microbial filogenéticamente diferente a las bacterias verdaderas (González, Galindo, Aldana, y Moreira, 2006). La manipulación de la dieta de los rumiantes se considera una alternativa viable para disminuir la producción de metano, y así mismo, disminuir las pérdidas energéticas en el animal. Esta alternativa toma mayor fuerza en las condiciones de trópico, donde la mayoría de los sistemas de producción ganadera tienen bajos rendimientos debido a las dietas de baja calidad (Carmona, Bolívar, y Giraldo, 2005).

Además, según Carmona et al. (2005) diversas evidencias muestran que la tasa de emisión de metano por fermentación ruminal, está relacionada con las

características físico-químicas de la dieta, las cuales afectan el nivel de consumo y la frecuencia de alimentación.

2.2.1.3.2 Cuantificación de gases de efecto invernadero (GEI).

En nuestro país, el crecimiento económico influye en el aumento de las emisiones de GEI; por ejemplo, en el período 2000 - 2009, el Producto Bruto Interno (PBI) aumentó a una tasa de 73,6 %, un promedio de 5,5 % anual, alcanzando una tasa récord de crecimiento de 9,8 % en el 2008 (INEI, 2007). Tal es así que el comportamiento de las emisiones de gas metano en nuestro país, obedecería al crecimiento poblacional que se ha dado en los últimos años, pasando de 25 millones en el 2000 a 32 millones en el año 2018. Según el Inventario de emisiones de GEI del 2009, el tercer sector con mayores emisiones es agricultura, al 2009 fue de 26,948 Gg de CO₂eq., lo cual refleja un aumento del 20 % con respecto al año 2000. El rubro de suelos agrícolas seguido por el de fermentación entérica representaron el 47 % y el 43 %, respectivamente, de las emisiones (metano y óxido nitroso). Este considera varias fuentes, entre ellas, las seis principales subcategorías que se describen a continuación: fermentación entérica, manejo de estiércol, cultivos de arroz, suelos agrícolas, quema de sabanas o pastizales, quema de residuos agrícolas. El incremento de las emisiones GEI, en especial el gas metano, se explicaría por el aumento de las cabezas de ganado de 4,9 millones en el 2000 a 5,4 millones en el 2009.

El sector agropecuario comprende seis fuentes de emisiones de GEI: i) fermentación entérica y ii) manejo de estiércol, ambos relacionados con la digestión y desechos de los animales herbívoros; iii) cultivo de arroz, mediante la extensión

de superficie cosechada según tipo de riego; iv) quema de sabanas, como práctica de manejo con la combustión de los pastizales, v) quema de residuos agrícolas, se consideran los cultivos agrícolas representativos del país cuya materia seca se quema; vi) suelos agrícolas, se estima las emisiones procedentes directamente del suelo por los cultivos, la producción de estiércol animal y las provenientes del nitrógeno empleado en la fertilización de los cultivos; en términos absolutos, el sector agropecuario ha venido aumentando su aporte en las emisiones, pasando de 22 809 Gg de CO₂eq en el año 1994 a 26 948 Gg de CO₂eq en el 2009, y finalmente en el 2016 a 26 985 Gg de CO₂eq y posteriormente a un con un crecimiento de 18,23 % en el periodo, siendo que, las fuentes de emisión que más aportan son Fermentación entérica y Suelos agrícolas, y en menor proporción el cultivo de arroz, Manejo de estiércol, quema de sabanas y quema de residuos agrícola (INGEI,2012).

Tabla 11

Fuentes de emisión GEI del sector agricultura, en Gg de CO₂eq

Ítem	Fuentes de emisión	1994		2000		2009		2016	
		Gg de CO ₂ eq	%						
i.	Fermentación entérica	7,6	33,5	10,41	46,2	11,48	42,6	10,73	39,2
ii.	Manejo de estiércol	0,842	3,7	0,956	4,2	1,08	4	1,44	5,3
iii.	Cultivo de arroz	1,16	5,1	0,894	4	1,10	4,1	1,31	4,9
iv.	Quema de sabanas	0,904	4	0,502	2,2	0,334	1,2	0,317	1,2
v.	Quema de residuos agrícolas	0,114	0,5	0,117	0,5	0,235	0,9	0,224	0,8
vi.	Suelos agrícolas	12,130	53,2	9,666	42,9	12,715	47,2	12,95	48
vii.	Total	22,809	100	22,545	100	26,948	100	26,981	100

Fuente: INGEI, 2012

Nota: La tabla anterior se basa en el sistema de estimación de emisión de gases de efecto invernadero.

La composición de las emisiones ha cambiado entre 1994 al 2016, en el año 2000 la principal fuente fue la Fermentación Entérica y el año 2016 según lo proyectado por el Sistema de Estimación de Emisiones de Gases e de Efecto Invernadero (SEEGEI) pasó a ocupar el segundo lugar, la segunda fuente el año 2000 fue Suelos Agrícolas y el año 2016 fue la principal, la tercera fuente el año 2000 fue el manejo del estiércol, manteniendo su lugar y aumentando su porcentaje en el año 2016, el cultivo de arroz en el año 2000 se ubicó en el cuarto lugar y mantiene su posición en el año 2016, por otro lado, la quema de sabanas y la quema de residuos mantiene el quinto y sexto lugar respetivamente en el año 2000 y 2016 (Dongo, 2018).

Tabla 12

Composición de emisiones del sector agropecuario en porcentajes

Ítem	Fuentes de emisión	2000	2009	2016
		%	%	%
i.	Fermentación entérica	46,2	42,6	39,2
ii.	Manejo de estiércol	4,2	4	5,3
iii.	Cultivo de arroz	4	4,1	4,9
iv.	Quema de sabanas	2,2	1,2	1,2
v.	Quema de residuos agrícolas	0,5	0,9	0,8
vi.	Suelos agrícolas	42,9	47,2	48

Fuente: INGEI, 2012

Nota: los datos de la tabla anterior fueron extraídos del proyecto de planificación ante el cambio climático del año 2009 que fueron refinados en el inventario nacional de gases de efecto invernadero, basado en el sistema de estimación de emisión de gases de efecto invernadero.

2.2.1.4 Metodologías de medición y estimaciones de las emisiones de metano.

Para el desarrollo de inventarios o para la implementación de estrategias de mitigación, es importante contar con una tecnología de medición confiable y precisa tales como: calorimetría a través de cámaras respiratorias, producción de gases *in vitro* (simulación ruminal), capa limite (Bhatta, Enishi, y Kurihara, 2007). Complementado con lo que menciona Bonilla y Lemus (2012) sobre desarrollar

estrategias para mitigar las emisiones del metano entérico vacuno y que para ello debe existir variedad de técnicas y métodos en medición; hace referencia a cámaras de cuerpo entero, cajas de cabeza y máscaras ventiladas. Con los datos obtenidos mediante las técnicas mencionadas se ha derivado las ecuaciones predictivas para generar modelos matemáticos de la producción de CH₄ para ganado lechero y de carne, las cuales mostraron optima predicción y mayor facilidad de uso para fines de estimar inventarios internacionales y nacionales de emisiones.

Según Marín (2013) las emisiones de metano producto de la fermentación entérica pueden ser cuantificadas mediante métodos *in vitro* o con metodologías predictivas o de estimación de las emisiones de GEI como las establecidas por las directrices. Existen también programas que buscan predecir las emisiones a través de diferentes ecuaciones por modelación, como el programa LIFE-SIM, que se encarga de estimar las emisiones de metano (León et al., 2006); El Panel Intergubernamental del Cambio Climático da el alcance del uso de las directrices en un nivel 1, 2 ó 3 por cada categoría animal, con ello también el software versión 2,69 en el idioma inglés y eslovaco.

2.2.1.5 Directrices del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC).

2.2.1.5.1 Elección del método.

El IPCC (2006) indica que la elección del método se efectúa en dos oportunidades, para la caracterización del ganado vacuno y para los resultantes de la fermentación entérica, cabe indicar que para la aplicación de las directrices hay la posibilidad de desarrollarlos en niveles diferentes: el nivel 1, es simplificado, se basa en factores de emisión por defecto obtenidos de la bibliografía, se desarrolla donde no se

disponga de datos de caracterización mejorada; el nivel 2 es un poco más complejo, requiere de datos detallados y específicos del país referido a ingesta de energía bruta (EB) y a factores de conversión en metano por categorías específicas de ganado y adicionales que se puedan incorporar; el nivel 3 requiere de la incorporación de información adicional y específica del país, se podría desarrollar en modelos sofisticados en los que se considere la composición de la dieta a detalle, variaciones estacionales de la población ganadera, concentración de productos resultado de la fermentación en los rumiantes, disponibilidad de alimentos, y las posibles estrategias de mitigación.

2.2.1.5.2 Elección del método para la caracterización del ganado vacuno.

Para la caracterización adecuada se debe seguir el árbol de decisiones para la caracterización de la población de ganado (ver apéndice E, figura E1 para obtener información detallada), donde explica bajo un flujograma claramente desde poder identificar las especies ganaderas aplicables a cada categoría, revisar los métodos de estimación de emisiones para cada una de las categorías, determinar si se requiere una caracterización básica o mejorada para cada especie de ganado sobre la base de los análisis de categorías principales, el poder consultar para cada especie de ganado: ¿si se dispone de datos que sirvan de base al nivel de detalle requerido para la caracterización? Existe dos opciones, si la respuesta es no, ¿se puede recabar datos para servir de base al nivel de caracterización?, eso quiere decir que debemos ajustar el nivel de la caracterización a los datos que se dispone (nivel 1), y si la respuesta es sí se debe realizar la caracterización con el nivel de detalle requerido (nivel 2 ó 3).

2.2.1.5.3 Elección del método para las resultantes de la fermentación entérica.

Para las resultantes de la fermentación entérica se debe seguir el árbol de decisiones para las emisiones de CH₄ resultantes de la fermentación entérica (ver apéndice E, figura E2 para obtener información detallada), donde explica bajo un flujograma claramente inicia en la pregunta de ¿se dispone de una metodología de nivel 3 específica del país?, si la respuesta es sí se deberá estimar las emisiones de las especies usando el método del nivel 3 con datos más específicos, si la respuesta es no, se planteará otra pregunta de ¿se dispone de caracterización de ganado mejorada? si la respuesta es sí se deberá estimar las emisiones en un nivel 2 directamente, pero si la respuesta aun es no se plantearán otras preguntas sobre la fermentación, ¿es una categoría principal? ¿la especie es significativa? si la respuesta sigue manteniéndose en un no, se deberá estimar las emisiones de las especies usando el método del nivel 1 y si la respuesta es si se deberá recabar datos de caracterización de especies mejoradas para el método de nivel 2.

2.2.1.5.4 Software IPCC 2006.

Los inventarios nacionales de GEI del IPCC sobre el programa y su unidad de apoyo técnico ubicado en IGES (Especificación de Intercambio Inicial de Gráficos) en Hayama, Japón, iniciaron el desarrollo de nuevos inventarios del software IPCC, el propósito de este software es poner en práctica metodológica (nivel 1 y 2 en base a las directrices del IPCC 2006) en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero para la preparación de reportes de los diferentes sectores como GEI de acuerdo a las directrices del IPCC ya sea para inventarios completos o para categorías o grupos de categorías separadas (Espíritu Inc., 2019).

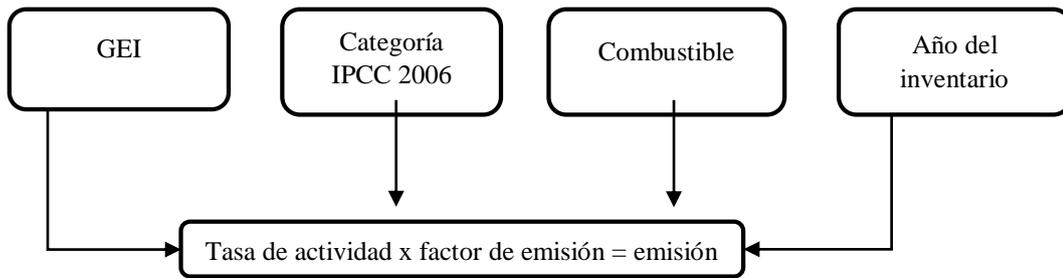


Figura 2. Modelo de datos de inventario básico
Fuente: IPCC, 2006

El enfoque básico del software permite el relleno de los datos en base a las directrices sobre las hojas de trabajo con los datos de la actividad productiva y factores de emisión. Además, también es compatible con muchas otras funciones relacionadas con la administración de datos, control de calidad, la exportación de datos, importación de datos, así como la presentación de datos, se puede apreciar en la figura 2.

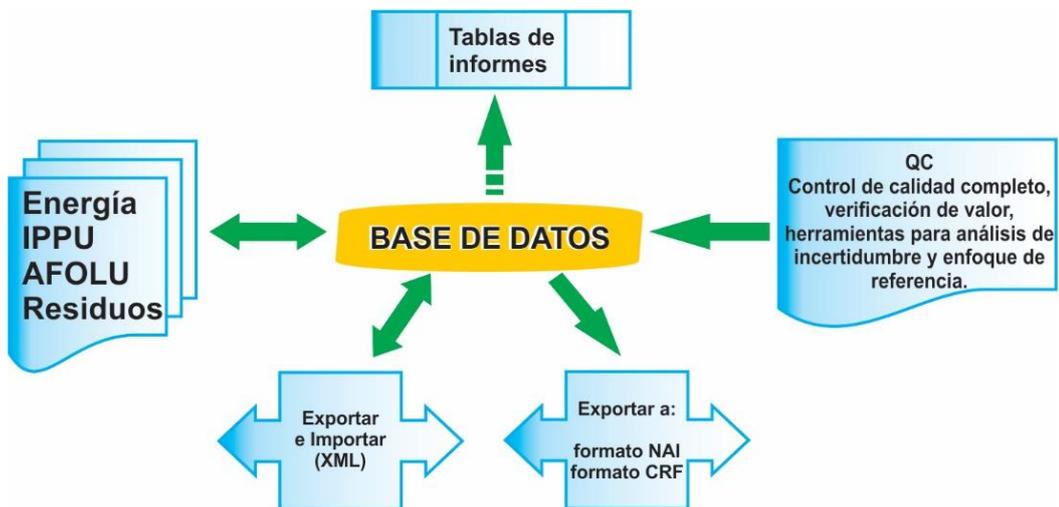


Figura 3. módulos del software
Fuente: IPCC, 2006

Constituye una buena práctica seleccionar el método para estimar las emisiones de El metano producido por la fermentación entérica requiere de tres pasos, que se desarrollan en cuatro fases que determina el software:

➤ *Paso 1.*

Dividir a la población del ganado en subcategorías por la cantidad de ejemplares, para estimar la emisión de cada uno y caracterizar cada subcategoría según lo descrito en el flujograma (ver apéndice E, figura E1 para obtener información detallada) de las resultantes.

➤ *Paso 2.*

Estimar los factores de emisión por cada subcategoría en función a los kilos de CH₄ por animal por un año.

➤ *Paso 3.*

Multiplicar los factores de emisión de las subcategorías por la cantidad de ejemplares por cada subcategoría de ganado para estimar la emisión de cada uno, y por último sumar todas las subcategorías para estimar la emisión total. Estos pasos se pueden llevar a cabo con distintos niveles de detalle y complejidad.

Se puede incorporar la opinión de la validación de expertos, declaraciones juradas del cumplimiento verídico del levantamiento en campo para la reducción de la incertidumbre, además se recomienda que los expertos nacionales manejen promedios anuales estimados teniendo presente los períodos de producción y las influencias estacionarias en conjunto de ejemplares.

Para ingresar al software, tienes que crear un usuario y contraseña, luego definir el país y el año del inventario a generar, configurar el sector en el que vas a trabajar y la temperatura promedio como acción básica, cabe mencionar que consta de cuatro secciones: la caracterización del ganado vacuno, la ingesta diaria

promedio del alimento, el factor de emisión de CH₄ para la fermentación entérica y las emisiones de CH₄ por fermentación entérica, en la figura 3 se puede observar el software.

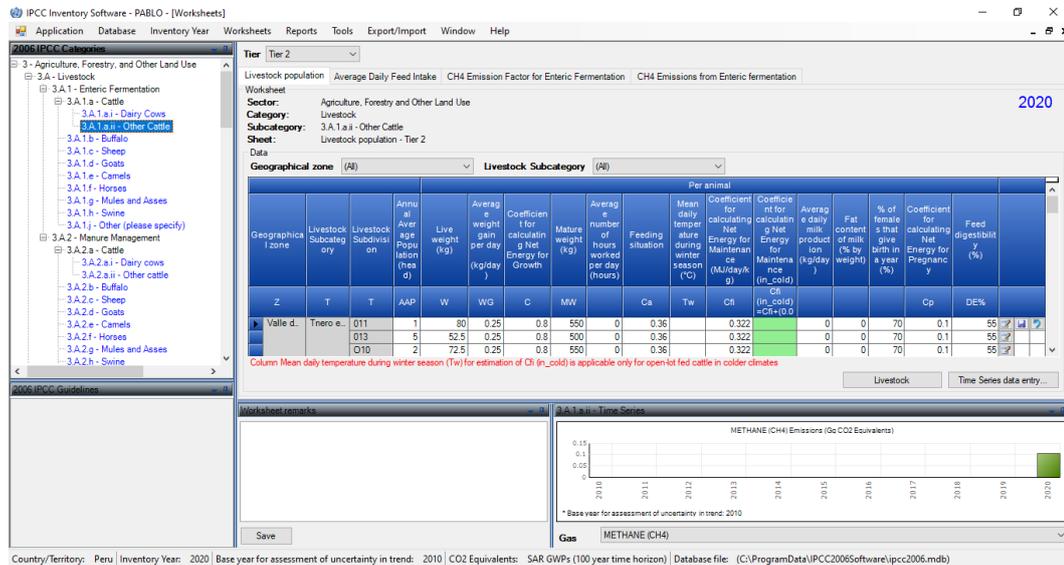


Figura 4. Software IPCC 2006 (versión 2,69)

2.2.1.5.5 Factor de conversión (Y_m).

Es el grado en el que la energía de los alimentos se convierte en CH₄. Por ello reflejada la falta de datos sobre rangos de Y_m en los diferentes países y para conseguir una respuesta sofisticada para el cálculo de emisiones de CH₄ de origen entérico, realizaron una revisión de los trabajos publicados que aportan datos sobre digestibilidad y producción de CH₄, a partir de ello se han realizado regresiones de distinto tipo por especie animal además las directrices del IPCC establecen unos parámetros en Y_m ajustable por defecto cuando no hay registros propios de un país, dichos parámetros están fundamentados sustancialmente en la digestibilidad del alimento en raciones, y su analogía negativa con el Y_m (Cambra et al., 2008).

En este estudio considerando el valor de Ym en la obtención de las emisiones generadas por el ganado vacuno, se ha tomado ha bien de actualizar la información disponible en proporción a los valores de Ym en ganado vacuno en base a la regresión cuadrática generada por el software IBM SPSS versión 25 en relación a la bibliografía existente de diferentes artículos y estudios de investigación, con el objeto de calcular adecuadamente las emisiones de gas metano producto de la actividad entérica con el software de predicción en las condiciones del valle. Dada la analogía negativa que existe entre el Ym y la digestibilidad, se proyecta que a medida que aumenta la digestibilidad reduce el Ym. Los valores de Ym que se encuentran en la descripción bibliográfica varían entre el 2 y el 12 % de la energía ingerida para distintas dietas (Johnson y Ward, 1995). Si bien los valores extremos corresponden a situaciones no usuales en la práctica. El IPCC plantea unos valores de Ym para el ganado vacuno que se encuentran entre el 1 y el 6,5%, correspondientes a digestibilidades en parámetros desde el 45 hasta el 85 %, obedeciendo a la clase de alimento, lo que se resuelve trazando distintos trechos de digestibilidad tales como: vacunos alimentados con forrajes de baja calidad (45-55 %), vacunos alimentados con pasturas (55 – 75 %) y vacunos alimentados con concentrados mayor a un 90 % (75 – 85 %) (IPCC, 2006).

Los métodos comunes para medir Ym abarcan desde el uso de cámaras de respiración en las que alberga ejemplares animales hasta la técnica de rastreo que emplea SF₆ que permite estimar las emisiones de metano en condiciones de inmovilidad (encierro) y de pastoreo (Johnson y Johnson 1995). Además, los datos del IPCC son similares a las mediciones analizados por Lassey (2007) quien también calculo las mediciones a inventarios nacionales y mundiales.

2.2.1.5.6 Evaluación de la incertidumbre de las directrices del IPCC.

Según el IPCC (2006) señala que la incertidumbre en el método de nivel 2 depende de la exactitud de la caracterización del ganado (p. ej., la homogeneidad de las categorías de ganado) y también del grado en el que los métodos para definir los coeficientes en las distintas relaciones que constituyen el enfoque de energía neta se correspondan con las circunstancias del país. Es factible que las estimaciones de los factores de emisión basadas en el método de nivel 2 sean del orden de $\pm 20\%$. Los compiladores del inventario que empleen el método de nivel 2 deben realizar un análisis de las incertidumbres que reflejan su situación en particular y, a falta de este análisis, se supone que la incertidumbre en el método de nivel 2 es similar a la del de nivel 1.

Por otro lado, los factores de emisión para el método de nivel 1 no se basan en datos específicos del país, sino en base a las directrices pre establecidas, la misma señala que este factor de emisión puede que no representen exactamente las características del ganado del país, es poco probable que los factores de emisión estimados empleando el método de nivel 1 tengan un grado de exactitud mayor de $\pm 30\%$ y pueden ser inciertos hasta en $\pm 50\%$. Según las directrices, y el avance de las investigaciones sobre la ciencia relacionada con las emisiones, teóricamente, el método de nivel 3, es la que tendrá menor grado de incertidumbre de emisión de gas metano. El grado de incertidumbre adicional relacionada con la caracterización del ganado, la alimentación y las estimaciones de la digestibilidad alimentaria (DE %) son claves para su reducción, la diferenciación de las estimaciones de incertidumbre se establece en la sección 10.2 de las directrices del IPCC 2006, en la que en el volumen 1, Capítulo 3 (Incertidumbres) se presenta información general

sobre los procedimientos para evaluar la incertidumbre (IPCC, 2006).

2.2.2 Marco normativo y político.

2.2.2.1 Marco normativo.

Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático (LMCC), aprobado por Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM.

El dispositivo legal precisa que el Ministerio del Ambiente (MINAM), como autoridad nacional en materia de cambio climático, orienta y conduce la gestión integral del cambio climático en el marco de sus competencias sobre la base de los principios y enfoques establecidos en los artículos 2 y 3.

“Artículo 16.- Medidas de mitigación al cambio climático

El Estado, en sus tres niveles de gobierno, de manera articulada y participativa diseña e implementa programas, proyectos y actividades orientadas a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la captura de carbono, y el incremento de sumideros, priorizando la protección, conservación y manejo sostenible de los bosques; la forestación y reforestación; el control del uso y cambio de uso de suelo; el transporte sostenible; la gestión de residuos sólidos; el control de las emisiones gaseosas y efluentes; el cambio progresivo de los modelos de consumo y de la matriz energética a energías renovables y limpias; y la eficiencia energética en los diversos sectores productivos y extractivos; entre otras”.

Decreto Supremo N° 013-2014-MINAM — Disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INFOCARBONO)

“Artículo 7.- Identificación y recopilación de Información

En función a los formatos, métodos y guías que apruebe el Ministerio del Ambiente, las entidades competentes identificarán preliminarmente la información existente vinculada a la emisión y remoción de gases de efecto invernadero, en el ámbito de su competencia. A partir de la aplicación del método correspondiente, se podrá conocer la información específica que se requerirá y recopilará de los generadores de datos. Las entidades competentes solicitaran a los generadores de datos bajo su competencia, la presentación de información que no tengan en su poder; quedando facultada para definir la forma en que será requerida la información, según corresponda”.

“Artículo 8.- Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero

Las entidades competentes evaluarán la información recopilada y elaborarán el Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero, según las disposiciones complementarias que emita el Ministerio del Ambiente. Las entidades competentes deberán documentar y archivar toda la información vinculada a la elaboración del citado Reporte”.

Decreto Supremo N° 12-2009-MINAM sobre la Política Nacional del Ambiente

Fue el primer instrumento de planificación general en materia ambiental establecido por el MINAM que señala lineamientos de política con el objetivo de asegurar la viabilidad ambiental de las actividades productivas y mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo, relevando la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, así como el rol importante de la participación ciudadana y de las organizaciones públicas y privadas. Entre los

lineamientos presentados está incentivar la implementación de medidas de adaptación a los efectos e impactos del cambio climático, y de gestión de GEI, promoviendo el uso de tecnologías y el desarrollo de proyectos forestales.

Ley Orgánica de Gobiernos Regionales N° 27867 - función del Gobierno Regional en materia ambiental y de ordenamiento territorial.

“Formular, coordinar, conducir y supervisar la aplicación de las estrategias regionales respecto a la diversidad biológica y sobre cambio climático, dentro del marco de las estrategias nacionales respectivas” (Artículo 53, inciso c). precisa que el Gobierno Regional de Moquegua con soporte de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente desempeña con formular e implementar la Estrategia Regional de Cambio Climático (ERCC) en el marco de los lineamientos y objetivos estratégicos de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático” (MINAM, 2014).

2.2.2.2 Marco político.

Existen diversos instrumentos de política pública que constituyen el marco para la planificación y gestión ambiental, en esta sección se exhibirán los de mayor relevancia para el caso específico de la gestión del cambio climático en el Perú:

2.2.2.2.1 Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2021.

Es el primer plan estratégico de desarrollo nacional que reafirma la necesidad de considerar el cambio climático como una variable importante en todos los instrumentos de planificación del desarrollo y de gestión en los diferentes niveles de gobierno (Presidencia del Consejo de Ministros [PCM], 2018).

2.2.2.2.2 Plan Nacional de Acción Ambiental 2011-2021 (PLANAA).

Es un instrumento estratégico de gestión pública en materia ambiental, El PLANAA, a diferencia de la Política Nacional, señala metas prioritarias hasta 2021 e hitos quinquenales para monitorear su cumplimiento. A los instrumentos de planificación antes descritos se suman otros de orientación y promoción de la gestión del cambio climático, entre los cuales se encuentra la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático (ENCC) aprobada en su primera versión en 2003 y actualizada en setiembre de 2015, luego de un proceso iniciado en 2010 bajo el liderazgo de la Comisión Nacional sobre Cambio Climático (CNCC) y los grupos técnicos ad hoc (MINAM, 2011).

2.2.2.2.3 Gestión Integrada del Cambio Climático (Gestión Clima).

Busca contribuir al proceso de planificación y de acción ante el cambio climático, además de identificar condiciones y proponer soluciones y mecanismos que coadyuven a la implementación de la ENCC y el logro de sus metas. Un importante avance en la gestión de riesgos de desastres (GRD) en el país, que incluye la previsión y resiliencia frente a los riesgos climáticos, es el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (SINAGERD) creado en 2011 (MINAM, 2016b).

2.2.2.2.4 Tercera comunicación nacional del Perú a la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.

El gobierno del Perú a través del presente tiende a reportar los avances realizados en el país desde el año 2010 a diciembre de 2015, y reflejar el esfuerzo de los diferentes actores para incorporar los objetivos estratégicos y acciones nacionales para lograr un desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima (MINAM, 2016a).

2.3 Definición de términos

- **Calentamiento global:** Es el aumento a largo plazo de la temperatura media de la Tierra. Es un aspecto básico del cambio climático, justificado por la medición directa de la temperatura y de varios aspectos del calentamiento.
- **Efecto invernadero:** Consiste en el calentamiento de la extensión planetaria y de las capas bajas de la atmósfera debido a un exceso de radiación solar, que, al no poder escapar hacia el exterior, queda atrapada e incita un aumento escalonado de la temperatura.
- **Gases de Efecto Invernadero (GEI):** Son aquellos que dejan pasar la radiación del sol, pero que absorben las radiaciones infrarrojas devueltas por la superficie terrestre, a las que impiden escapar hacia el espacio.
- **Metano:** Gas incoloro, inflamable, cuya fórmula química es CH₄. Los humedales, el ganado y la energía son las principales fuentes que emiten metano a la atmósfera, cabe mencionar que es considerado entre los principales gases de efecto invernadero.
- **Fermentación entérica:** Hace referencia al metano que se concibe durante la digestión de los rumiantes y monogástricos.
- **Digestibilidad:** La proporción de nutrientes servibles para su absorción de ese alimento.
- **Biotipología:** Está definida como la composición genética que distingue a un grupo de individuos de una misma especie, estableciendo sus características particulares.

- **Factores intrínsecos del animal:** Propios al sujeto animal o alimento que pueden afectar su salud y/o calidad (peso, edad, especie, raza, etc.).
- **Factores extrínsecos del animal:** Factores no propios al sujeto, animal o alimento que pueden afectar su salud y/o calidad relacionado al alimento (composición e ingestión).
- **Sistema de alimentación semi estabulado:** Se caracteriza por utilizar el pastoreo parcial de alfalfa y cantidades pequeñas de suplementación con ensilado y concentrado con desplazamiento regular al momento de su alimentación.
- **Sistema de alimentación extensivo:** Producción ganadera basada en aspectos como la utilización de razas autóctonas, la movilidad del ganado, el bienestar animal o el manejo ajustado a la disponibilidad espacial y temporal de los recursos disponibles en cada zona ejerciendo mayor movilidad en busca del alimento.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 Tipo de la investigación

Investigación descriptiva, porque se aplica los conocimientos a la solución de un problema inmediato con el objeto de ampliar principios y procedimientos.

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Diseño de investigación descriptivo.

El presente trabajo de investigación se sustentará en el diseño de investigación no experimental de un descriptivo simple, porque busca determinar valores cuantitativos transversalmente de los niveles de la emisión del gas metano emitido al medio ambiente por el ganado vacuno en el distrito de Moquegua.

Se plantea el siguiente esquema:

M – O

Donde:

M: Muestra (ganado vacuno por sistemas de alimentación en el distrito de Moquegua).

O: Información de observaciones y estimaciones de ingesta de alimentos (energía bruta EB) hasta determinar la estimación de la emisión de gas metano por fermentación entérica del ganado vacuno.

3.2.2 Elección del método para la caracterización del ganado vacuno.

Las directrices del IPCC definen dos niveles de caracterización dependiendo del estudio a efectuarse y además si se cuenta con la información respectiva.

3.2.2.1 Nivel 1, caracterización básica para poblaciones de ganado.

La caracterización en este nivel es buena práctica para recabar los siguientes datos del ganado vacuno a fin de respaldar las estimaciones de emisiones sobre: especies y categorías de ganado, población anual.

3.2.2.2 Nivel 2, caracterización mejorada para poblaciones de ganado.

La caracterización del ganado en este nivel requiere información sobre: subcategorías de ganado vacuno, población del ganado, ingesta de alimentos sobre la productividad, calidad y gestión de la dieta. Para elegir el nivel con el cual vamos a trabajar, primero debemos identificar las especies ganaderas aplicables por categoría, para ello cabe indicar que en el valle de Moquegua en un 95 % son de raza Holstein, luego de analizar los métodos de estimación de emisiones mediante las directrices del IPCC, se alcanza el resultado de manera simplificada aplicando el nivel 1 y de manera detallada optando el nivel 2. Bajo esa condición se opta por el nivel 2 ya que son datos que se pueden conseguir mediante visita a campo, por opinión de expertos y bibliografía científica (ver apéndice E, figura E1 para obtener información detallada), verificando los procedimientos de la guía metodológica del cambio climático.

3.2.3 Elección del método para las resultantes de la fermentación entérica.

Instituye una buena práctica elegir el método para estimar las emisiones de metano derivadas por fermentación entérica, en detalle se podrá apreciar en el árbol de decisiones (ver apéndice E, figura E2 para obtener información detallada).

3.2.3.1 Nivel 1.

Es un método abreviado que hace hincapié en factores de emisión por defecto obtenidos de la bibliografía existente o valores predeterminados por las directrices.

3.2.3.2 Nivel 2.

Es un método más complejo que requiere datos detallados y específicos del país referido, incluso de la región donde se ha de desarrollar el estudio, ingesta de energía bruta y factores de conversión en metano por categoría específicas de ganado, cabe mencionar que el software IPCC 2006 solo puede aplicar en un nivel 1 o nivel 2, actualmente no está desarrollado para un nivel 3.

3.2.3.3 Nivel 3.

Este método podría implicar el desarrollo de modelos sofisticados considerando la composición de la dieta en detalle: concentración de productos resultado de la fermentación en los rumiantes, variaciones estacionales de la población animal o de la calidad, disponibilidad de alimentos y posibles estrategias de mitigación. Se alienta a seguir este nivel siempre y cuando se disponga de información y se pueda asumir el compromiso al alto grado de revisión por parte de pares del ámbito internacional, para garantizar exactitud y/o precisión en las estimaciones.

3.2.4 División de la investigación.

Esta investigación consideró el levantamiento de información a través de los instrumentos de recolección de datos (ver apéndice), aplicando el software en su nivel 2 para vacuno en los sistemas de alimentación semi estabulado y extensivo, obtención de la energía bruta (EB), determinación del factor de conversión de metano (Y_m) considerando su mejora a través de la ecuación de Cambra et al., (2008) y estimación de niveles de metano emitido (FE) por cabeza animal en un año.

Para canalizar todo lo mencionado se ha optado por contemplar cuatro fases en el siguiente diagrama:

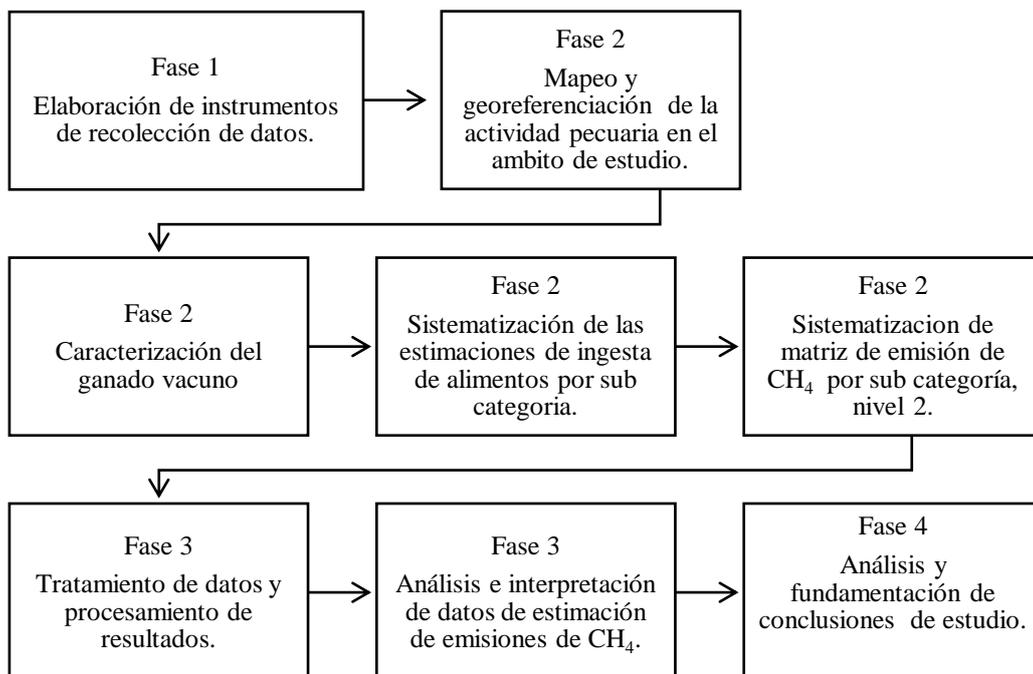


Figura 5. Diagrama de fases de intervención de la investigación

Nota: Para obtener las emisiones generadas por el ganado vacuno se ha aplicado el software IPCC 2006 versión 2,69 en base a las directrices en nivel 2; la determinación del factor de conversión Y_m se ha efectuado utilizando la ecuación de regresión cuadrática.

3.2.5 Campo de verificación.

3.2.5.1 Ubicación geográfica de la investigación.

Moquegua se ubica en la parte Sur Occidental del territorio peruano entre las coordenadas geográficas 17°11'53'' de Latitud Sur y los 70°55'54'' de Longitud Oeste. Limita al Norte con Arequipa, Puno; al Sur con Tacna; al Este con Puno, Tacna y al Oeste con el Océano Pacífico y Arequipa, su orientación es de Sur a Noreste. La provincia Mariscal Nieto en específico el distrito de Moquegua se encuentra a 1410 msnm.

El valle del distrito de Moquegua es el área de estudio, normalmente cuenta con una temperatura mínima de 9,65 °C y máximo de 28,16 °C en promedio 23,73 °C en un año, tiene un área de 4 419,62 ha. Según la base de datos exportado en ArcGis 10.5 extraído de la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) de la región Moquegua, la ubicación se puede apreciar en la figura 5.

Departamento	: Moquegua
Provincia	: Mariscal Nieto
Distrito	: Moquegua
Área de intervención	: Valle de Moquegua
Temperatura (°C)	: 23,73

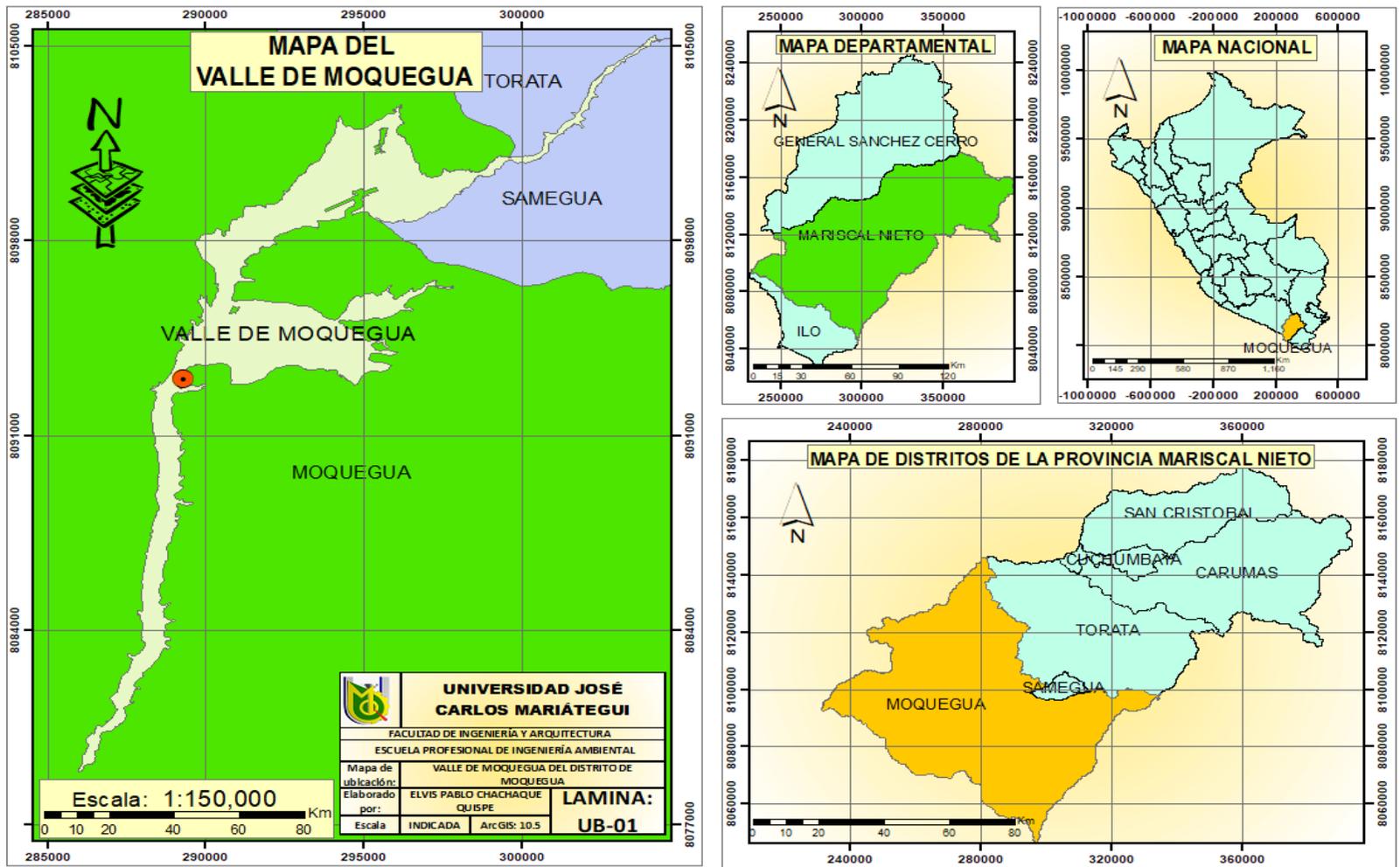


Figura 6. Mapa de ubicación del Valle de Moquegua

3.2.6 Características registradas en el ganado vacuno.

3.2.6.1 Parámetros reproductivos.

3.2.6.1.1 Peso vivo.

Para estimar el peso vivo de cada cabeza de ganado vacuno en estudio (Holstein) se utilizó una cinta vacuno métrica, midiendo así el perímetro torácico (vuelta completa al pecho, detrás de las patas delanteras de la vaca) para lo cual se optó la técnica aplicada en la investigación de Girón (2006) la misma replicada en la investigación de Ocas (2019), consiste en lo siguiente:

- Se inmovilizó al ganado vacuno con las cuatro patas en posición de ángulo recto en el cuerpo y la cabeza de manera corriente.
- Se circundó la cinta vacuno métrica con fuerza alrededor del cuerpo detrás del brazuelo y lomo alto.
- Se registró el peso que indica la cinta vacuno métrica en el instrumento de recolección de datos por fundo.

Para seguir el procedimiento correcto se contó con el apoyo del Tec. Agropecuario Nery Huacho Maquera quien acompañó en todas las visitas realizadas al valle de Moquegua, así mismo dando fe al trabajo se adjunta la Declaración Jurada del acompañamiento a campo (ver apéndice E, figura E6 para obtener información detallada).

3.2.6.1.2 Aumento de peso promedio.

Se siguió lo mencionado por el Mvz. Juan Carlos Arcos que para calcular el aumento de peso diario se puede tomar el día de ingreso al fundo, además indica que el pesaje se debe hacer al nacimiento, al destete, antes de iniciar el levante, y

entre esta etapa y la finalización, se pueden hacer 3, 4 o los que desee el productor. Con esa información se tuvo a bien de contar con la carta de validación de datos, firmada por el especialista en crianzas de animales domésticos (ver apéndice E, figura E7 para obtener información detallada).

3.2.6.1.3 Peso maduro.

Para ello se consultó a especialistas y productores ganaderos del valle de Moquegua considerando que el peso corporal maduro es cuando se ha completado el desarrollo óseo y debe vincularse el peso de referencia de un fundo.

3.2.6.1.4 Intervalo de parto.

Es el periodo transcurrido entre un parto y otro en la misma vaca. Para este dato se ha interpolado los registros del agricultor contrastándose con lo mencionado por el IPCC (2006), también por Sánchez (2010) que refieren lo óptimo es tener un periodo inter parto de 365 días, este hito influye variando en el número de partos según la vida reproductiva. La duración es muy variable dependiendo de factores como prácticas de manejo, raza, edad. Además, Ocas (2019) indica que el intervalo entre partos en la vaca es indicador significativo y que debe ubicarse entre los 12 meses promedio.

3.2.6.1.5 Cantidad de crías producidas al año

Se consultó a SENASA Moquegua al área de sanidad animal (Mvz. Jorge Eduardo Salazar), y al especialista en crianzas de animales domésticos (ver apéndice E, figura E7 para obtener información detallada), que en las condiciones del valle de Moquegua el 70 % de un fundo de ganado vacuno produce crías en un año, datos

que están en el parámetro de lo que menciona el IPCC (2006) que un 75 % produce crías al año, para América Latina y el Caribe.

3.2.6.2 Parámetros productivos.

3.2.6.2.1 Producción de leche.

Se realizó un registro de la producción de leche por día de cada uno de los fundos en estudio para determinar la cantidad promedio, se ha elaborado cuadros de sistematización como parte del registro de datos obtenidos abalado mediante una declaración jurada (ver apéndice E, figura E6 para obtener información detallada).

3.2.6.2.2 Composición de la leche.

Los valores de la composición de la leche considerados para el estudio son reflejo de datos de estudios realizados por especialistas en Moquegua, y contrastado por el Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2016, AGROBIT.

Tabla 13

Composición de la leche

Agua	Grasa	Proteínas	Lactosa	Sales	Sólidos totales
88%	3,5 %	3,2 %	4,6 %	0,7 %	12%

Fuente: Servicio para la Comunidad Agropecuaria [AGROBIT], 2019

Respecto a los datos evaluados y verificados se ha considerado para el sistema de alimentación semi estabulado 3,3 % y para el sistema de alimentación extensivo 3,5 % en condiciones del valle de Moquegua, son valores que se asemejan a los aplicados en diferentes investigaciones en condiciones similares (ver apéndice E, figura E7 para obtener información detallada).

3.2.6.2.3 Periodo de producción.

Es el tiempo (meses) del periodo de gestación de una vaca lechera antes de que esta se seque, para el cual las cifras se obtuvieron con ayuda de los registros de la producción por fundo, determinándose que una vaca produce por 300 días y una vaca lechera en seca esta por los 60 días, información comparada con investigaciones realizadas sobre el ganado vacuno (ver apéndice E, figura E7 para obtener información detallada).

3.2.7 Características registradas de la gestión del alimento.

3.2.7.1 Sistema de alimentación.

Para la investigación se ha considerado el sistema de alimentación semi estabulado y extensivo contemplando la gestión del alimento, su composición y digestión en el día.

3.2.7.2 Composición de la ración.

La alimentación del ganado vacuno depende del propósito (beneficio, leche), en ese entender en el valle de Moquegua la crianza está centrada en aprovechar la leche obtenida por las vacas y que el ganado en crecimiento este en óptimas condiciones para que en la edad de adulta joven pueda producir, según las encuestas desarrolladas la composición de la ración está constituida en el sistema de alimentación semi estabulado por un 45,2 kg de alfalfa, 31,5 kg de ensilado y 2,35 kg de concentrado, su alimentación es de 8:00 a 11:00 horas en el campo a base de alfalfa y a las 14:00 horas de ensilado y concentrado previo al sacado de leche; en el sistema de alimentación extensivo está constituida por un 67,58 kg de alfalfa, 11,6 kg de ensilado y 2,29 kg de concentrado, en algunos fundos ganaderos el

consumo de alfalfa llega a un 90 % y desarrolla toda su producción en el campo desde que amanece hasta que anochece controlados por cerco eléctrico.

3.2.8 Factores del estudio.

3.2.8.1 Digestibilidad de alimentos.

Se refiere a la gestión de alimentos y forrajes dominantes en su consumo del ganado, considerando las variaciones estacionales; para determinar la digestibilidad se debe considerar los coeficientes a partir de datos científicos locales e investigaciones previas, por ello se ha validado a través de una carta por ser un estudio de nivel 2 según las directrices de los expertos del cambio climático.

3.2.8.2 Estimación del factor de conversión (Ym).

Las directrices del IPCC 2006 establecen unos parámetros en Ym ajustable por defecto cuando no hay registros propios de un país. Dichos parámetros están fundamentados sustancialmente en la digestibilidad del alimento en raciones, y su analogía negativa con el Ym (Cambra et al., 2008).

En este estudio considerando el valor de Ym en la obtención de las emisiones generadas por el ganado vacuno, se ha tomado ha bien de actualizar la información disponible en proporción a los valores de Ym en ganado vacuno en base a la regresión cuadrática (ecuación 1) generada por el software IBM SPSS versión 25 en relación a la bibliografía existente de diferentes artículos y estudios de investigación, con el objeto de calcular adecuadamente las emisiones de gas metano producto de la actividad entérica con el software de predicción IPCC 2006 versión 2,69 a las condiciones del valle de Moquegua.

$$y = a + bx + cx^2 \dots\dots\dots[\text{Ecuación 1}]$$

En la cual:

y = variable dependiente, í-esima observación.

a, b, c = estimadores de la ecuación.

x = valor de la í-esima observación de la variable independiente.

Dada la analogía negativa que existe entre el Ym y la digestibilidad, se proyecta que a medida que aumenta la digestibilidad reduce el Ym. Los valores de Ym que se encuentran en la descripción bibliográfica varían entre el 2 y el 12 % de la energía ingerida para distintas dietas (Johnson y Ward, 1995). Si bien los valores extremos corresponden a situaciones no usuales en la práctica. El IPCC plantea unos valores de Ym para el ganado vacuno que se encuentran entre el 1 y el 6,5%, correspondientes a digestibilidades en parámetros desde el 45 hasta el 85 %, obedeciendo a la clase de alimento, lo que se resuelve trazando distintos trechos de digestibilidad tales como: vacunos alimentados con forrajes de baja calidad (45-55 %), vacunos alimentados con pasturas (55-75 %) y vacunos alimentados con concentrados mayor a un 90 % (75- 85 %) (IPCC, 2006). En base al IPCC los métodos comunes para medir Ym abarcan desde el uso de cámaras de respiración en las que alberga ejemplares animales hasta la técnica de rastreo que emplea SF₆ que permite estimar las emisiones de metano en condiciones de inmovilidad (encierro) y de pastoreo (Johnson y Johnson 1995).

Además, los datos del IPCC son similares a las mediciones analizados por Lassey (2007) quien también calculo las mediciones a inventarios nacionales y mundiales. Para adquirir una propuesta justificada para el cálculo de las emisiones

de CH₄ de origen entérico como aporte al inventario de emisiones de gases de efecto invernadero para la región Moquegua, en este trabajo se ha efectuado una revisión de los trabajos publicados que tributan datos sobre digestibilidad y producción de metano.

A partir de estos datos se han realizado regresiones de distinto tipo para obtener el mejor ajuste a los datos disponibles, para la estimación se ha selecto los artículos e investigaciones más recientes de los últimos años con datos sobre Digestibilidad vs. Ym medidos simultáneamente.

3.2.8.3 Cálculos de la Energía Bruta.

a. Energía bruta (EB).

Es la base de la suma de los indicadores considerados como los requerimientos de energía neta y las tipologías de disponibilidad de energía del alimento. Según las directrices del IPCC (2006), los datos sobre el comportamiento y la dieta se emplean para estimar la ingesta de alimentos, es decir, la cantidad de energía (MJ/día) que necesita un animal para su mantenimiento y para las actividades tales como el crecimiento, la lactancia y la preñez, se sabe que normalmente se efectúan ecuaciones diversas hasta llegar a determinar la energía bruta (EB) de las categorías existentes, en este caso aplicaremos el software IPCC 2006 versión 2,69 en un nivel 2 la que determina en base a la corrida de los datos de manera correcta.

Tabla 14*Resumen de los indicadores a usar para la obtención de la energía bruta (EB)*

Indicadores para estimar la ingesta bruta diaria	Ecuación según el IPCC 2006	Software en aplicación
1. Mantenimiento (NEm) 2. Actividad (NEa) 3. Crecimiento (NEg) 4. Lactancia (NEl) 5. Trabajo (NEt) 6. Preñez (NEp) 7. Relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida (REM). 8. Relación entre la energía neta disponible en la dieta para crecimiento y la energía digerible consumida (REG).	1. NEm = Ec. 10,3 2. NEa = Ec. 10,4 3. NEg = Ec. 10,6 4. NEl = Ec. 10,8 5. Net = Ec. 10,11 6. NEp = Ec. 10,13 7. REM = Ec. 10,14 8. REG = Ec. 10,15	Software IPCC 2006, versión 2,69
Energía Bruta (EB)	EB = Ec. 10,16	Software IPCC 2006, versión 2,69

Nota: Ec = ecuación, para normalmente obtener en base a la suma de los indicadores (energía neta) la energía bruta (EB), cabe indicar que para este estudio se usó el software IPCC 2006, versión 2,69.

Donde:

- **Energía neta para el mantenimiento (NEm):** Es la cantidad de energía necesaria para mantener a un animal en equilibrio sin que se gane ni se pierda energía corporal.
- **Energía neta para la actividad (NEa):** Energía que necesitan los animales para obtener su alimento, agua y refugio.
- **Energía neta para el crecimiento (NEg):** Es la energía para ganar peso.
- **Energía neta para la lactancia (NEl):** Se expresa en función al importe de leche producida y su contenido graso, ambos expresados en porcentaje (%).
- **Energía neta para el trabajo (NEt):** Se emplea para estimar la energía requerida para el arado.

- **Energía neta para la preñez (NEp):** Es el total de requerimiento de energía para pa preñez durante un periodo de gestación de 281 días, promediado para todo un año, se calcula como el 10 % del (NEm).
- **Relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida (REM):** Referido a los vacunos es la relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida (REM).
- **Relación entre la energía disponible en una dieta para crecimiento y la energía digerible consumida (REG):** Referido a los vacunos es la relación entre la energía neta disponible para crecimiento y la energía digerible consumida (REG).

3.2.8.4 Método de nivel 2 para emisiones de metano por fermentación entérica.

El método nivel 2 se aplica a categorías de población de ganado más disgregadas y se emplea para calcular factores de emisión y no valores por defecto. Los principales elementos a considerar en cuanto al método de nivel 2 son el desarrollo de factores de emisión y la recopilación de datos detallados de la actividad en base a la caracterización de la población, factores de emisión, factor de conversión (Ym), digestibilidad (DE%) para obtener emisiones totales.

3.2.9 Aplicación del software IPCC 2006.

El programa pone en práctica metodologías Tier 1 y Tier 2 en referencia a las directrices; ya sea para obtener datos de estimación para inventarios completos o para categorías o grupos en específico, dicho programa solo existe en versión inglés y eslovaco.

Para la investigación se aplicó la versión 2,69 en inglés, cabe indicar que para cada ingreso de datos según la finalidad se debe obtener un usuario y contraseña para facilitar el acceso a la hoja de trabajo y demás opciones. El software IPCC no cuenta con mucha información de la aplicación del mismo, considerándose que la mayoría de los estudios efectuados han sido a través de ecuaciones numéricas, cabe indicar que se cuenta con un manual de uso denominado “Inventario de software del IPCC, manual del usuario”, compilado por Espíritu Inc., Bratislava, República Eslovaca, enero 2013, supervisado por la Unidad de apoyo técnico del grupo de trabajo del sobre los inventarios de gases de efecto invernadero y esta última versión fue revisado en septiembre de 2019.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población.

La población del presente estudio de investigación denominado “Estimación del gas metano generado por el ganado vacuno en el distrito de Moquegua, año 2019”, está constituido por 6 270 unidades de ganado vacuno en el distrito de Moquegua entre las razas Holstein y Criollo de nuestra región, se detalla el cuadro siguiente:

Tabla 15

Población pecuaria referente al ganado vacuno

Región	Vacuno
Nacional	5 535 569*
Moquegua	21 522
Provincia Mariscal Nieto	8 883
Distrito Moquegua	6 270

Fuente: Gerencia Regional de Agricultura [GRA], 2018

Nota: * = Datos preliminares de población pecuaria de ganado vacuno a nivel nacional, según el “Anuario estadístico de producción pecuaria y avícola 2017” del Ministerio de Agricultura y Riego – DGESEP.

3.3.2 Muestra.

En el presente estudio, el tipo de muestra que se aplicará será muestreo probabilístico aleatorio, cuya elección garantiza que todos los individuos que componen la población tienen la misma relevancia y oportunidad de ser incluidos. Para definir el muestreo correspondiente, se sustentó en las unidades de producción (fundo) existentes en cada sistema de alimentación de los productores pecuarios del distrito de Moquegua, se determinará usando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \dots\dots\dots[\text{Ecuación 2}]$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

Z_{α} = nivel de confianza

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción).

En ese sentido:

N = 6 270 unidades de ganado vacuno

n = Total de muestra por determinar

Z_{α} = 1,96 al cuadrado (95 %)

p = proporción esperada (en este caso 5 % = 0,05)

q = 1 – p (en este caso 1 – 0,05 = 0,95)

d = precisión de 5 %

$$n = \frac{6270 * 1,96^2 * 0,05 * 0,95^2}{0,05^2(6270 - 1) + 1,96^2 * 0,05 * 0,95} = 362$$

Por tanto, la muestra de estudio de la investigación está constituido por 362 unidades de ganado vacuno, del distrito de Moquegua, los cuales serán seleccionados según los siguientes criterios:

- Ubicación geográfica de unidad de producción.
- Conglomerado (cantidad) de producción por sector.

Para el presente estudio, la proporción de la muestra de estudio se segmentará según los sectores existentes en el valle: La Rinconada, Omo, Santa Rosa, Estuquiña.

3.3.2.1 Unidades de estudio.

Se consideró cada fundo ganadero como unidad experimental, constituido por 22 fundos bajo la representatividad de cabezas de vacuno, de los cuales 10 son en sistema de alimentación semi estabulado basado en el confinamiento de los animales en ciertas horas y en parte del día brindándoles alimentación en un área determinado y 12 en sistema de alimentación extensivo con rotación periódica en el campo por el día. El trabajo se desarrolló considerando los cuatro sectores existentes en el valle de Moquegua, interviniendo en siete fundos del sector La Rinconada, siete fundos del sector Omo, cuatro fundos del sector Santa Rosa, cuatro fundos del sector Estuquiña, para efectuar una caracterización coordinada del ganado vacuno, a fin de asegurar coherencia entre las categorías, subcategorías, codificando cada una de las unidades, se puede apreciar en la tabla 16 los fundos visitados, el mapa de muestreo trabajado en el software ArcGis versión 10,5 se observara al final de la investigación.

Tabla 16*Puntos de muestreo en el valle de Moquegua*

Puntos de muestreo				
Código	Sector	Fundo	Coordenadas UTM (zona 19)	
			ESTE	NORTE
RI 1	La Rinconada	San José	2,883,812,551	8087415,33
RI 2		Santo Domingo	2,881,779,732	8086830,91
RI 3		Testamento	2,883,442,559	8086175,84
RI 4		La Rinconada	288,277,546	8086114,26
RI 5		Chamos	288,107,433	8085404,87
RI 6		Sacata	2,881,407,609	8084946,85
RI 7		La Rinconada	2,889,464,554	8089395,59
OM 8	Omo	San Antonio - Calaluna	2,888,485,972	8091412,3
OM 9		Condesa	2,900,788,968	8094793,69
OM 10		El Palmo	2,888,493,115	8089993,26
OM 11		El Palmo	2,891,093,109	8090537,73
OM 12		Corpanto	2,896,357,974	8094172,05
OM 13		Corpanto	2,900,938,245	8094807,68
OM 14		La Pampa	2,888,247,372	8090974,5
STR 15	Santa Rosa	Alto Calaluna - Montalvo	2,904,284,576	8095404,53
STR 16		La Condesa	2,903,745,646	8095241,33
STR 17		Yaravico	2,911,993,062	8097807,36
STR 18		Montalvo	2,904,661,622	8095474,41
EST 19	Estuquiña	Estuquiña	2,929,653,823	8098933
EST 20		Huaracane	2,937,084,952	8101022,65
EST 21		Huaracanito	2,929,928,252	8099084,54
EST 22		Buena vista / Charsagua	2,943,095,125	8100271,65

Nota: Los puntos muestreados son los fundos visitados en el valle de Moquegua los cuales agrupan el total de los cuatro sectores visitados haciendo un total de 22 fundos muestreados, el mapa de muestreo para mayor análisis se aprecia en el apéndice.

3.4 Descripción de instrumentos para recolección de datos

3.4.1 Instrumentos para la recolección de datos.

El presente trabajo de investigación aplicará las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de datos para validar la investigación planteada, según detalle a continuación:

Tabla 17

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumentos
	Ficha de observación
Observación	Este instrumento permitirá recolectar datos de las características del biotipo de ganado vacuno y determinar el comportamiento de la dieta, su alimentación mediante la ficha técnica de análisis del software IPCC 2006 en base a las directrices (ver apéndice)
	Guía de entrevistas
Entrevista	Este instrumento recogerá las percepciones de los conductores de los sistemas de alimentación focalizados y su conocimiento acerca del impacto de la fermentación entérica en ganados vacunos y su incidencia en el nivel productivo del ganado vacuno.

Nota: Se ha establecido una definición operacional según los instrumentos planteados por el presente estudio.

3.4.1.1 *Materiales.*

Materiales de escritorio

- Papel bond A4 color blanco 80 gr.
- Lapiceros.
- Corrector.
- Resaltador.
- Lápiz y borrador.

Materiales para el trabajo en campo

- Cinta vacuno métrica.

- Libreta de campo.
- Tableros de campo.
- Cordel.
- Sacos de alimento.
- Bolsas de polietileno 10 kg.
- Gigantografía con el diseño de la investigación.

Equipos de protección personal

- Guardapolvo.
- Lentes de protección.
- Botas.
- Zapatos de seguridad.
- Guantes de látex.

3.4.1.2 Equipos.

- Laptop con el software IPCC 2006 versión 2,69.
- GPS.
- Cámara fotográfica.
- Balanza romana 25 kg.
- Impresora.
- Movilidad (alquiler).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados

4.1.1 Factores intrínsecos del ganado vacuno.

4.1.1.1 Caracterización del ganado vacuno.

4.1.1.1.1 Definiciones para categorías de ganado.

Tabla 18

Categorías de ganado vacuno

Categoría	Sub categoría	Definición
Ganado lechero	Vacas lecheras en producción	Todas las hembras paridas en producción.
	Vacas Lecheras en seca	Todas las hembras próximas a parto que ya no producen.
Ganado en crecimiento	Vaquillona	Desde cuando entra en celo.
	Vaquilla	Se le considera desde los 4 meses hasta los 2 años.
	Ternero	Desde el nacimiento hasta los 3 meses.
	Torete	Hasta los 2 años
Ganado maduro macho	Toro	Desde los 2 años en adelante

Nota: Es una adaptación a la definición del IPCC contrastando con otros estudios realizados en el país respecto al ganado vacuno

En la tabla 17, observamos la clasificación de las poblaciones de ganado vacuno por categorías (vacas lecheras, ganado en crecimiento, ganado maduro) y

subcategorías ajustándose a lo mencionado por el IPCC (2006) de esta manera se plasma en el instrumento de recolección de datos y también en la aplicación del software, registrándose en la sección ganado (livestock) tal como figura en la tabla para posteriormente obtener datos de fermentación entérica y emisiones de metano de manera detallada.

4.1.1.1.2 Población del ganado vacuno por sistema de alimentación.

El software IPCC (2006) considera cuatro apartados, entre los cuales la población de ganado vacuno (datos primarios), los mismos que se detallan en las siguientes tablas en promedios por categoría (ver apéndice D para obtener información detallada).

Tabla 19

Datos promedio de ganado lechero en el sistema de alimentación semi estabulado

Subcategoría	Población media anual	Peso vivo	Producción diaria promedio de leche	Contenido de grasa de leche	Cantidad de crías producidas al año	Digestibilidad del alimento
	(cabeza)	kg	kg/día	%	%	%
Vacas lecheras en producción	114	465,5	24,65	3,3	70	64
Vacas Lecheras en seca	29	528,3	0	0	70	64
Total				143		

En la tabla 18 menciona a la población de la categoría de ganado lechero en el sistema de alimentación semi estabulado desglosándose en dos subcategorías vacas lecheras en producción (114 unidades), vacas lecheras en seca (29 unidades) respectivamente, haciendo un total de 143 cabezas de ganado vacuno evaluadas (ver apéndice D, tabla D1, D3 para obtener información detallada), de diez fundos

evaluados que cuentan con vacas lecheras en producción y nueve fundos evaluados que cuentan con vacas lecheras en seca debidamente codificados y sistematizados.

Tabla 20

Datos promedio del ganado lechero en el sistema de alimentación extensivo

Subcategoría	Población media anual	Peso vivo	Producción diaria promedio de leche	Contenido de grasa de leche	Cantidad de crías producidas al año	Digestibilidad del alimento
	cabeza	kg	kg/día	%	%	%
Vacas lecheras en producción	89	480,4	20,71	3,3	70	55
Vacas Lecheras en seca	25	537,5	0	3,5	70	55
Total				114		

En la tabla 19 señala a la población de la categoría de vacas lecheras en el sistema de alimentación extensivo desprendiéndose en dos subcategorías, vacas lecheras en producción (89 unidades), vacas lecheras en seca (25 unidades), estableciendo un total de 114 cabezas de ganado vacuno evaluados, (ver apéndice D, tabla D2, D3 para obtener información detallada), de 12 fundos evaluados que cuentan con vacas lecheras en producción y 12 fundos evaluados que cuentan con vacas lecheras en seca debidamente codificado y sistematizado para facilitar el trabajo.

Tabla 21*Datos promedio del ganado en crecimiento en el sistema de alimentación semi-estabulado*

Subcategoría	Población media anual	Peso vivo	Aumento de peso	Peso maduro	Número promedio de trabajo	cantidad de crías producidas al año	Digestibilidad del alimento
	Cabeza	kg	Kg/día	Kg	hrs.T/día	%	%
Vaquillona	18	304,17	0,137	558,3	0	70	64
Vaquilla	28	165,71	0,137	542,86	0	70	64
Ternera	37	79,17	0,25	544,4	0	70	64
Torete	7	120	0,137	516,7	0	70	64
Total				90			

En la tabla 20 se muestra a la población de la categoría de ganado en crecimiento en el sistema de alimentación semi estabulado desprendiéndose en cuatro subcategorías, las vaquillonas (18 unidades), vaquillas (28 unidades), terneras (37 unidades), toretes (siete unidades) respectivamente, en este apartamento estableciendo un total de 90 cabezas de ganado vacuno en crecimiento evaluados (ver apéndice D, tabla D4, D5, D6, D7 para obtener información detallada), seis fundos evaluados cuentan con vaquillonas, siete fundos evaluados cuentan con vaquillas, nueve fundos evaluados cuentan con terneras, tres fundos evaluados cuentan con toretes.

Tabla 22*Datos promedio del ganado en crecimiento en el sistema de alimentación extensivo*

Subcategoría	Población media anual	Peso vivo	Aumento de peso	Peso maduro	Número promedio de trabajo	cantidad de crías producidas al año	Digestibilidad del alimento
	cabeza	kg	Kg/día	Kg	hrs.T/día	%	%
Vaquillona	21	281	0,137	540	0	70	55
Vaquilla	15	148,6	0,137	517.1	0	70	55
Tenera	21	61,7	0,25	527.5	0	70	55
Torete	18	156,4	0,137	527.1	0	70	55
Total				75			

En la tabla 21 se muestra a la población de la categoría de ganado en crecimiento en el sistema de alimentación extensivo, desglosándose en cuatro subcategorías: vaquillonas (21 unidades), vaquillas (15 unidades), terneras (21 unidades), toretes (18 unidades), en total son 75 cabezas de ganado vacuno en crecimiento evaluados (ver apéndice D, tabla D4, D5, D6, D7 para obtener información detallada), diez fundos evaluados cuentan con vaquillonas, siete fundos evaluados cuentan con vaquillas, ocho fundos evaluados cuentan con terneras, siete fundos evaluados cuentan con toretes.

Tabla 23*Datos promedio del ganado maduro en el sistema de alimentación semi estabulado*

Subcategoría	Población media anual	Peso vivo	Aumento de peso	Peso maduro (Kg)	Número promedio de trabajo	cantidad de crías producidas al año	Digestibilidad del alimento
	cabeza	kg	Kg/día	Kg	hrs.T/día	%	%
Toro	2	575	0	525	0	70	64

En la tabla 22 se observa a la población de la categoría de ganado maduro en el sistema de alimentación semi estabulado, siendo una sola subcategoría considerada para este estudio: en total dos cabezas de ganado vacuno evaluados, cabe mencionar que en el valle de Moquegua el interés o la finalidad de la crianza es netamente lechero y por inseminación las vacas son preñadas (ver apéndice D, Tabla D8 para obtener información detallada) solo dos fundos cuentan con toros.

Tabla 24

Datos promedio del ganado maduro en el sistema de alimentación extensivo

Subcategoría	Población media anual	Peso vivo	Aumento de peso	Peso maduro	Número promedio de trabajo	cantidad de crías producidas al año (%)	Digestibilidad del alimento (%)
	cabeza	kg	Kg/día	Kg	hrs.T/día	%	%
Toro	1	550	0	500	0	70	55

En la tabla 23 se aprecia a la población de la categoría de ganado maduro en el sistema de alimentación extensivo, siendo la subcategoría el toro contemplándose solo un ejemplar, en el apéndice 1 están los cuadros sistematizados a detalle, para el estudio en un fundo se encontró al toro indicándose que la finalidad de la crianza es netamente lechera en el valle de Moquegua.

a. Coeficientes IPCC

En esta sección se considera a los coeficientes que han sido utilizados para calcular la ingesta de alimentos por categoría de ganado vacuno en base al sistema de alimentación, son coeficientes proveídos por el IPCC (2006), dichos valores se han

constatado para ser usados en condiciones del valle de Moquegua, en relación a coeficientes del IPCC y la variación entre ellos obedece principalmente a las diferencias que existe entre ambos sistemas de alimentación (ver apéndice C para obtener información detallada).

Tabla 25

Coefficientes del IPCC para el ganado vacuno del sistema de alimentación semi estabulado

Subcategoría	Coefficiente de situación alimentaria	Coefficiente de energía neta para crecimiento	Coefficiente para mantenimiento	Coefficiente de preñez
	Ca = MJ/día/Kg	C = MJ/día	Cfi=MJ / día	Cp = MJ/día
ganado lechero				
Vacas lecheras en producción	0,17	-	0,386	0,1
Vacas Lecheras en seca	0,17	-	0,322	0,1
ganado vacuno en crecimiento				
Vaquillona	0,17	0,8	0,322	0,1
Vaquilla	0,17	0,8	0,322	0,1
Tenera	0,17	0,8	0,322	0,1
Torete	0,17	1	0,322	0
ganado maduro macho				
Toro	0,17	1,2	0,37	0

Tabla 26*Coefficientes del IPCC para el ganado vacuno del sistema de alimentación extensivo*

Subcategoría	Coefficiente de situación alimentaria	Coefficiente de energía neta para crecimiento	Coefficiente para mantenimiento	Coefficiente de preñez
	Ca = MJ/día/Kg	C = MJ/día	Cfi=MJ / día	Cp = MJ/día
ganado lechero				
Vacas lecheras en producción	0,36	-	0,386	0,1
Vacas Lecheras en seca	0,36	-	0,322	0,1
ganado vacuno en crecimiento				
Vaquillona	0,36	0,8	0,322	0,1
Vaquilla	0,36	0,8	0,322	0,1
Tenera	0,36	0,8	0,322	0,1
Torete	0,36	1	0,322	0
ganado maduro macho				
Toro	0,36	1,2	0,37	0

En las tablas 24 y 25 se muestran los coeficientes que fueron usados para las tres categorías de ganado vacuno diferenciándose por las subcategorías existentes para el estudio y por el sistema de alimentación.

El valor del coeficiente de situación alimentaria para el sistema de alimentación semi estabulado es de Ca = 0,17 y para el sistema de alimentación extensivo de Ca = 0,36 repitiéndose en todas las categorías la misma tendencia

existiendo una variación ya que en el semi estabulado están por un lapso de tiempo en un espacio confinado con suficiente forraje sin movimiento lo que exige escaso gasto de energía a diferencia del extensivo ya que son animales que pastan a campo abierto y generan gasto de energía en procura del alimento.

El valor del coeficiente de energía neta para crecimiento se aplica en el ganado en crecimiento según el IPCC (2006) en ese sentido las vaquillonas, vaquillas y terneras tendrán un valor de $C = 0,8$ consideradas como hembras, mientras que el torete es considerado como castrado, según la información recopilada ya que su crianza es para beneficio personal para este estudio incluye un valor de $C = 1$ y para el ganado adulto macho se le considera un $C = 1,2$.

Respecto a los valores del coeficiente para mantenimiento para ambos sistemas de alimentación por categoría de ganado vacuno sea para vacas lecheras en producción $C_{fi} = 0,386$ ya que requiere mayor gasto de energía por la producción de leche, las vacas lecheras en seca, vaquillonas, vaquillas, terneras y toretes en ambos sistemas tiene un valor de $C_{fi} = 0,322$ considerados vacunos que no están en lactancia o producción y para toros en ambos sistemas tiene un valor de $C_{fi} = 0,37$ considerados como animales enteros.

El coeficiente de preñez solo aplica para el ganado hembra desde el ternero hasta llegar a ser una vaca madura, sabiendo que normalmente una vaca produce al año un ternero por ello según el IPCC (2006) $C_p = 0,1$.

4.1.2 Factores extrínsecos.

4.1.2.1 Ingesta de alimentos (comportamiento y dieta animal).

Tabla 27

Indicadores de la Ingesta diaria promedio de alimento

Indicadores para calcular la ingesta de alimentos	abreviatura y ecuación sugerida, interpuesta por las directrices del IPCC (2006)
Energía neta para mantenimiento (MJ/día)	ENm = Ec. 10.3
Energía neta por actividad (MJ/día)	ENa = Ec. 10.4
Energía neta para el crecimiento (MJ/día)	ENc = Ec. 10.6
Energía neta para la lactancia (MJ/día)	ENl = Ec. 10.8
Energía neta para el trabajo (MJ/día)	ENt = Ec. 10.11
Energía neta para el embarazo (MJ/día)	ENe = Ec. 10.13
Digestibilidad del alimento (%)	DE %
Relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digestible consumida.	REM = Ec. 10.14
Relación entre la energía neta disponible para el crecimiento de una dieta y la energía digestible consumida.	REG = Ec. 10.15
Energía bruta	EB (MJ/día)

En la tabla 26 están todos los indicadores que menciona las directrices sobre la ingesta de alimentos para obtener la energía bruta (EB), ya que se derivan en la base de la suma de los requerimientos de energía neta y las características de disponibilidad de energía del alimento.

Tabla 28

Resumen del resultado de indicadores de la Ingesta diaria promedio de alimento aplicando el software IPCC 2006 en el sistema de alimentación semi estabulado

sistema de alimentación semi estabulado							
Abr.	Ganado lechero		Ganado en crecimiento				Ganado maduro macho
	Vp	Vs	Vq	Vqll	Tra	Tt	To
ENm	38,65	35,47	23,39	14,83	8,41	11,67	43,44
ENa	6,57	6,03	3,98	2,52	1,43	1,98	7,38
ENc	0	0	1,86	1,22	1,31	0,83	0
ENI	61,38	0	0	0	0	0	0
ENt	0	0	0	0	0	0	0
ENe	2,70	2,48	1,64	1,04	0,59	0	0
DE %	64	64	64	64	64	64	64
REM	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
REG	0	0	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
EB	357,22	134,65	98,38	62,58	38,69	46,12	164,91

Nota: Abr. = abreviatura; Vp = vaca en producción; Vs = vaca en seca; Vq = vaquillona; Vqll = vaquilla; Tra = ternera; Tt = torete; To = toro.

En la tabla 27 se observa los resultados de la segunda sección referida a la ingesta diaria promedio de alimento que exporta el IPCC 2006 versión 2,69 para el sistema de alimentación semi estabulado, por ejemplo en la energía neta para el mantenimiento se puede divisar que la categoría de vacas lecheras (en producción NEm = 38,65 y en seca NEm = 35,47) y ganado maduro (toros =43,44) obtienen datos muy por encima a los datos del ganado en crecimiento (oscila entre el máximo

que está en las vaquillonas NEm = 23,29 y el mínimo que está en las terneras NEm = 8,41) quiere decir que el ganado adulto requiere de más energía para mantenerse.

Tabla 29

Resumen del resultado de indicadores de la Ingesta diaria promedio de alimento aplicando el software IPCC 2006 en el sistema de alimentación extensivo

Abr.	sistema de alimentación extensivo						
	Ganado lechero		Ganado en crecimiento				Ganado maduro macho
	Vp	Vs	Vq	Vqll	Tra	Tt	To
ENm	39,58	35,93	22,11	13,67	7,47	14,20	42,02
ENa	14,25	12,93	7,95	4,92	2,69	5,11	15,13
ENc	0,00	0	1,82	1,13	1,26	1	0
ENi	58,72	0	0	0	0	0	0
ENt	0,00	0	0	0	0	0	0
ENe	2,77	2,51	1,55	0,96	0,55	0	0
DE %	55	55	55	55	55	55	55
REM	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
REG	0	0	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
EB	445,93	198,67	135,90	84,19	50,39	86,12	220,995

Nota: Abr. = abreviatura; Vp = vaca en producción; Vs = vaca en seca; Vq = vaquillona; Vqll = vaquilla; Tra = ternera; Tt = torete; To = toro.

En la tabla 28 se observa los resultados de la ingesta diaria promedio de alimento para el sistema de alimentación extensivo, por ejemplo en la energía neta para el mantenimiento se puede divisar que la categoría de vacas lecheras (en

producción NEm = 39,58 y en seca NEm = 35,93), también el ganado maduro (toros = 42,02) obtiene datos muy por encima a los datos del ganado en crecimiento (oscila entre el máximo que está en las vaquillonas (NEm = 22,11 y el mínimo está en las terneras NEm = 7,47) quiere decir que el ganado adulto requiere de más energía para mantenerse.

4.1.3 Fermentación entérica del ganado vacuno.

4.1.3.1 Digestibilidad para el estudio.

Tabla 30

Digestibilidad para el ganado vacuno en condiciones del valle de Moquegua

Ítem	Sistema de alimentación semi estabulado	Sistema de alimentación extensivo
01	64 %	55 %

Es importante obtener digestibilidades (DE) para ambos sistemas de alimentación, habitualmente la digestibilidad se expresa como porcentaje (%) de la energía bruta (EB) o como el total de nutrientes digeribles (TND), el IPCC (2006) indica que los coeficientes de digestibilidad deben obtenerse a partir de datos científicos regionales o locales en lo posible y deberá ser contrastado por un experto.

Es por ello que en la carta de validación de datos (ver apéndice E, figura E7 para obtener información detallada) se ha validado los datos, los mismos que se asemejan a los datos utilizados en las siguientes investigaciones en condiciones similares: Puente de la Vega (2015) sobre la “Relación entre el factor de emisión de metano entérico y la composición nutricional de la relación en vacas lecheras de la Irrigación Majes – Arequipa”; Ocas (2019) sobre la “Emisión de metano en dos

razas de vacunos lecheros (Holstein y Brown Swiss) con dos tipos de limento (pastura y pastura mas concentrado), Cajamarca”; Vizcarra (2012) referida a la “Estimacion de la emision de metano producida por la ganaderia de vacunos bajo condiciones del valle de Moquegua”; IPCC (2006) el cual menciona a las “Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol” en esta última los datos fueron tomados en Brasil de la Región de América latina y el Caribe.

Obtener digestibilidades (DE %) para ambos sistemas de alimentación es importante por ser un indicador significativo en la determinación del factor de conversión (Y_m), y en la estimación del factor de emisión (FE) por fermentación entérica del ganado vacuno (ver apéndice E, figura E7 para obtener información detallada).

4.1.3.2 Estimación del factor de conversión (Y_m) en condiciones del valle de Moquegua.

Se han utilizado los pares de datos de digestibilidad vs. Y_m a nivel internacional que presentan (Zúñiga, 2016); (Cambra et al., 2008); (Lassey, 2007); (Pinares Patino et al., 2003); (Ulyatt et al., 2002), a nivel Perú (Puente de la Vega, 2015); (Vizcarra, 2012), así como las últimas directrices del IPCC (IPCC, 2006).

Los datos revisados, presentan un rango de valores Y_m entre 1,9 y 7,5 %, para digestibilidades entre 45 y 85 % con respecto a lo que Cambra et al. (2008) ha pre definido como se muestra en la tabla 30, de manera que para obtener un modelo más ajustado a las condiciones del lugar de estudio, obtendremos una ecuación de regresión lineal y cuadrática mediante el software IBM SPSS versión 25, para luego

determinar los valores de Ym, para sistemas de alimentación semi estabulado y extensivo en el valle de Moquegua.

Tabla 31

Digestibilidad vs. Ym

Ítem	Ym (%)	Digestibilidad (%)
1	2	85
2	1,9	80
3	2,1	80
4	4,1	76
5	4	75
6	2,9	75
4	4	73
5	3,9	67
9	6,8	66
10	7	64
11	5,9	64
12	6,1	63
13	6,5	60
14	6,6	57
15	6,4	52
16	6,5	55
17	7,1	52
18	6,5	48
19	7,5	45

Nota: Algunas de las digestibilidades extraídas para el cálculo se tratan de digestibilidades de la materia seca (mismo equivalente); y en las otras cuestiones las cifras de digestibilidad conciernen a coeficientes de digestibilidad de la materia seca con la técnica in vitro.

Cabe indicar que se trata de un rango bastante amplio a comparación de Johnson y Johnson (1995) o por Lassey (2007) situado entre 4,4 y 9 %. La utilización de estas ecuaciones puede resultar muy útil para calcular Ym con las distintas cifras en parámetros ya mencionados en relación a la digestibilidad de la alimentación del ganado que se dan en las dietas suministradas en condiciones del valle del distrito de Moquegua.

4.1.3.2.1 *Procedimiento efectuado en el IBM SPSS.*

Una vez obtenido los datos de Ym vs. Digestibilidad por fuente bibliográfica de estudios realizados en el extranjero y en el Perú (Arequipa y Moquegua), introducimos los datos al programa de computador para obtener las ecuaciones de regresión lineal y cuadrática, para posteriormente calcular el Ym en relación a la Digestibilidades obtenidas en el valle de Moquegua validadas por un especialista (ver apéndice E, figura E7 para obtener información detallada).

Tabla 32

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro en Ym

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro								
Variable dependiente: Factor de Conversión Ym (%)								
Ecuación	Resumen del modelo				Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,799	67,706	1	17	,000	14,694	-,147	-
Cuadrático	,869	52,873	2	16	,000	-1,360	,364	,004

La variable independiente es Digestibilidad DE (%).

4.1.3.2.2 *Obtención de las ecuaciones de regresión.*

➤ *Regresión lineal.*

$$y = a + bx$$

$$y = 14,694 - 0,147x$$

$$R^2 = 0,799$$

➤ *Regresión cuadrática.*

$$y = a + bx + cx^2$$

$$y = -1,360 + 0,364x - 0,004x^2$$

$$R^2 = 0,869$$

La regresión presenta un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0,869, de lo que se desprende que en ganado vacuno la digestibilidad es un buen predictor de la producción de metano, explicando el 86,90 % de la variación en Y_m .

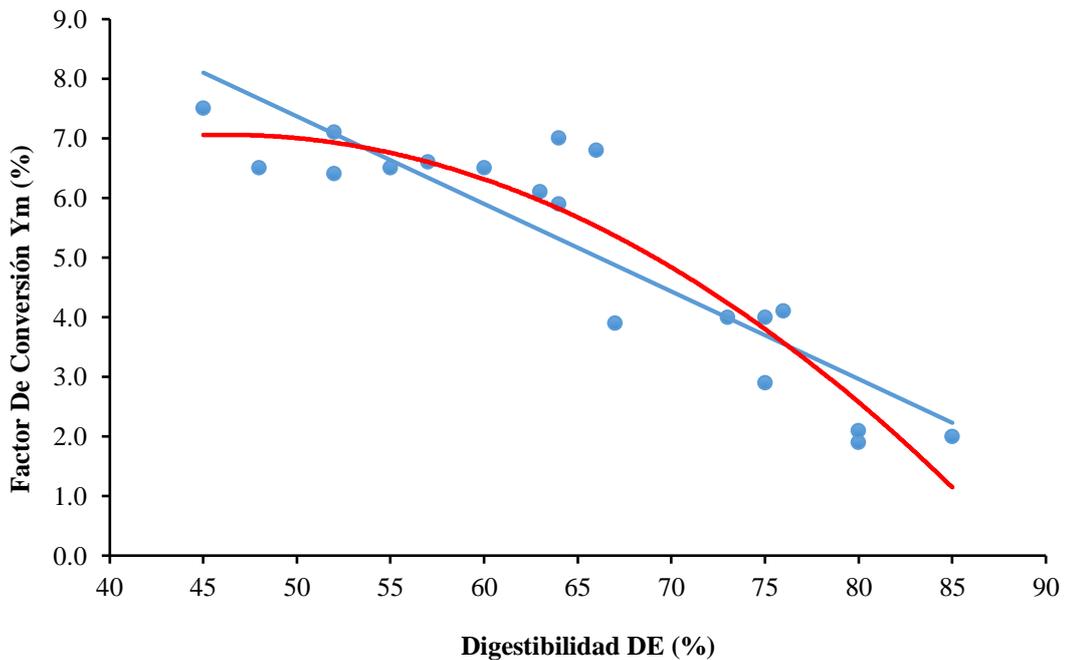


Figura 7. Comparación de la relación del factor de conversión Y_m (%) vs. Digestibilidad DE (%)

De las regresiones tanto lineal como polinómica realizadas con estos datos, se aprecia una clara correlación negativa entre ambas variables. Los datos se ajustan a una regresión polinómica, cuya ecuación para vacuno es la siguiente:

$$Y_m = -1,360 + 0,364(DE) - 0,004(DE)^2 \quad \dots\dots\dots[\text{Ecuación 3}]$$

Donde:

Ym = factor de conversión (%), porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano.

DE = digestibilidad alimentaria (%).

4.1.3.2.3 Obtención de Ym .

En base a los datos recopilados en el valle de Moquegua, validada por el especialista en crianzas de animales domésticos (ganado vacuno) Mvz. Efrain Canaza y relacionado a investigaciones como la de Puente de la Vega (2015); Ocas (2019); Vizcarra (2012); IPCC (2006), como se menciona en el documento de validación de datos (ver apéndice E, figura E7 para obtener información detallada) referente a la digestibilidad para un sistema de alimentación semi estabulado es de 64 %, mientras que para un sistema de alimentación extensivo es de 55 % en condiciones del valle de Moquegua.

En tal sentido procedemos a calcular Ym para una digestibilidad de 64 %:

$$Ym = -1,360 + 0,364(DE) - 0,004(DE)^2$$

$$Ym = -1,360 + 0,364(64) - 0,004(64)^2$$

$$Ym = 5,552 \%$$

Ahora, calculamos Ym para una digestibilidad de 55 %:

$$Ym = -1,360 + 0,364(DE) - 0,004(DE)^2$$

$$Ym = -1,360 + 0,364(55) - 0,004(55)^2$$

$$Ym = 6,56 \%$$

4.1.3.3 Factor de emisión de CH₄ para la fermentación entérica.

4.1.3.3.1 Ganado lechero.

Tabla 33

Determinación del factor de emisión CH₄ en vacas lecheras en producción

Sistema de alimentación	Energía bruta	Factor de conversión de metano	Factor de emisión de CH ₄
	EB = MJ/día	Ym = %	FE = kg CH ₄ /cabeza/año
semi estabulado	357,218	5,552	130,08
extensivo	445,928	6,56	191,865

La tabla 32 nos muestra los resultados respecto a la estimación del factor de emisión por cabeza de ganado vacuno en razón a la subcategoría de vacas lecheras en producción, y se ve una diferencia considerable en el sistema de alimentación extensivo (191,865 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi-estabulado (130,08 kg CH₄/cabeza/año), además en el apéndice D, tabla D17 se puede apreciar el factor de emisión de CH₄ para la fermentación entérica de vacas lecheras en producción que para el sistema semi estabulado el fundo OM 12 es el valor mínimo encontrado (111,493 kg CH₄/cabeza/año) así mismo en el fundo STR 17 el valor máximo encontrado (173,558 kg CH₄/cabeza/año) y en base al sistema de alimentación extensivo en el fundo RI 7 fue el valor mínimo encontrado (177,007 kg CH₄/cabeza/año) y en el fundo RI 4 fue el valor máximo encontrado (228,423 kg CH₄/cabeza/año).

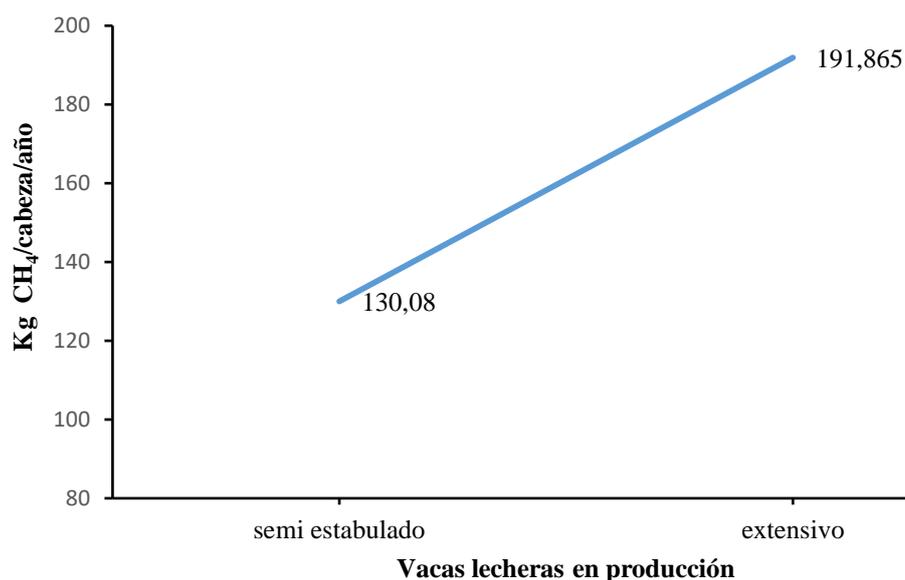


Figura 8. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH₄ respecto a las vacas lecheras en producción

Finalmente, según la figura 9, y reafirmando lo mostrado por la tabla 32, el sistema de alimentación extensivo muestra un valor significativo mayor (191,865 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi-estabulado (130,08 kg CH₄/cabeza/año) entorno a los promedios.

Tabla 34

Determinación del factor de emisión CH₄ en vacas lecheras en seca

Sistema de alimentación	Energía bruta	Factor de conversión de metano	Factor de emisión de CH ₄
	EB = MJ/día	Y _m = %	FE = kg CH ₄ /cabeza/año
semi estabulado	134,646	5,552	49,031
extensivo	198,671	6,56	85,480

La tabla 33, nos muestra los resultados respecto a la estimación del factor de emisión por cabeza de ganado vacuno en razón a la subcategoría de vacas lecheras en seca, se puede apreciar una diferencia considerable en el sistema de alimentación extensivo (85,480 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de

alimentación semi-estabulado (49,031 kg CH₄/cabeza/año), además en el apéndice D, tabla D18 se puede obtener la información detallada que para el sistema semi estabulado el fundo OM 8 es el valor mínimo encontrado (46,360 kg CH₄/cabeza/año) y el fundo STR 17 fue el valor máximo encontrado (55,309 kg CH₄/cabeza/año) y en base al sistema de alimentación extensivo en el fundo STR 15 fue el valor mínimo encontrado (81,007 kg CH₄/cabeza/año) y en el fundo OM 10 fue el valor máximo encontrado (92,877 kg CH₄/cabeza/año).

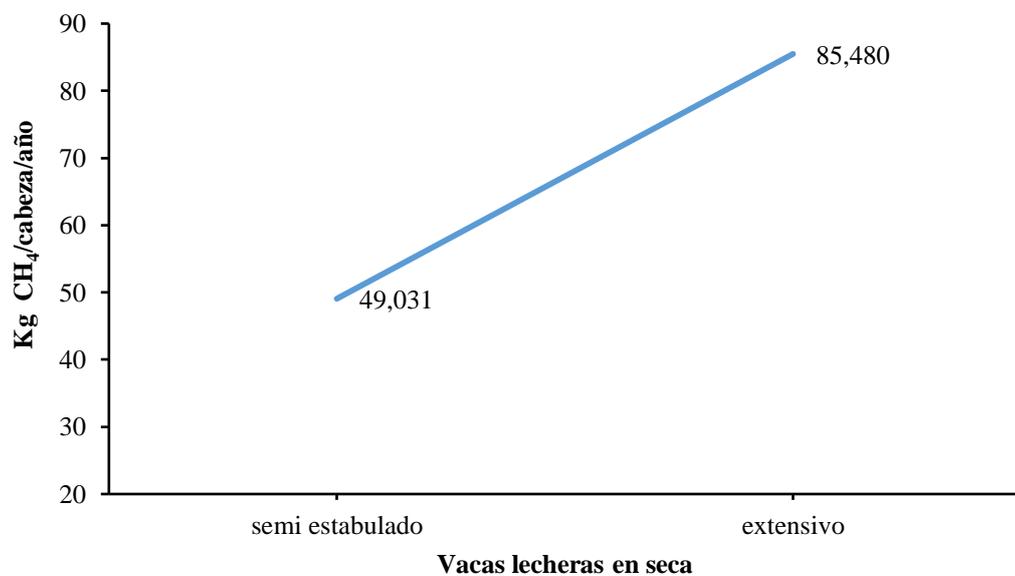


Figura 9. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH₄ respecto a las vacas lecheras en seca

Finalmente, según la figura 10 y de acuerdo a lo mostrado por la tabla 33, el sistema de alimentación extensivo es significativamente mayor (85,480 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi-estabulado (49,031 kg CH₄/cabeza/año) referente a los promedios.

4.1.3.3.2 Ganado en crecimiento.

Tabla 35

Determinación del factor de emisión CH₄ en vaquillonas

Sistema de alimentación	Energía bruta	Factor de conversión de metano	Factor de emisión de CH ₄
	EB = MJ/día	Y _m = %	FE = kg CH ₄ /cabeza/año
semi estabulado	98,38	5,552	34,306
extensivo	135,901	6,56	58,473

La tabla 34, nos muestra los resultados respecto a la estimación del factor de emisión en razón a la subcategoría vaquillonas, se puede apreciar una diferencia considerable en el sistema de alimentación extensivo (58,473 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi estabulado (34,306 kg CH₄/cabeza/año), en el apéndice D, tabla D19 sobre el factor de emisión de CH₄ en el sistema semi estabulado que el fundo RI 1 fue el valor mínimo encontrado (31,044 kg CH₄/cabeza/año) y el fundo OM 14 fue el valor máximo encontrado (37,3587 kg CH₄/cabeza/año) y en base al sistema de alimentación extensivo el fundo OM 13 fue el valor mínimo encontrado (52,853 kg CH₄/cabeza/año) y el fundo OM 11 fue el valor máximo encontrado (64,830 kg CH₄/cabeza/año).

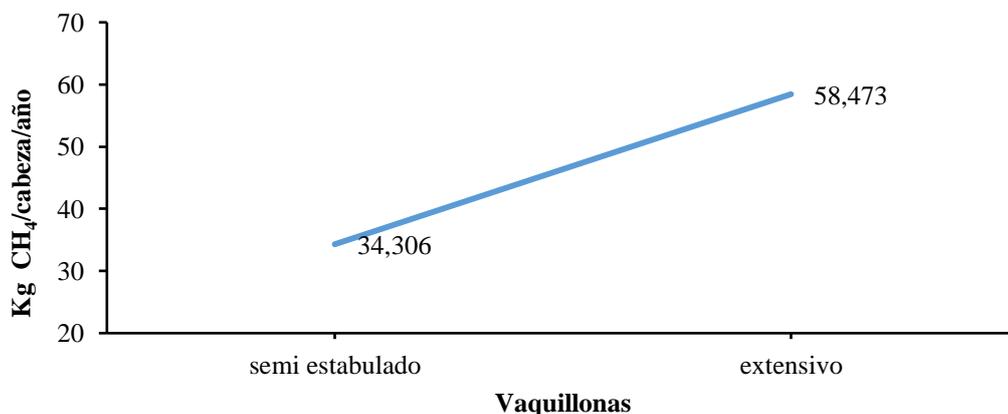


Figura 10. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH₄ respecto a las vaquillonas

Finalmente, según la figura 11, y de acuerdo a la tabla 34, el sistema de alimentación extensivo es significativamente mayor (58,473 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi-estabulado (34,306 kg CH₄/cabeza/año) referente a los promedios.

Tabla 36

Determinación del factor de emisión CH₄ en vaquillas

Sistema de alimentación	Energía bruta	Factor de conversión de metano	Factor de emisión de CH ₄
	EB = MJ/día	Y _m = %	FE = kg CH ₄ /cabeza/año
semi estabulado	62,365	5,552	22,787
extensivo	84,187	6,56	36,222

La tabla 35, nos muestra los resultados de la estimación del factor de emisión por cada cabeza de ganado vacuno en razón a la subcategoría vaquillas, se puede apreciar una diferencia en el sistema de alimentación extensivo (36,222 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi-estabulado (22,787 kg CH₄/cabeza/año), además en el apéndice D, tabla D20 de manera detallada se puede apreciar que para la fermentación entérica en el sistema semi estabulado en el fundo RI 6 fue el valor mínimo encontrado (19,010 kg CH₄/cabeza/año) y en el fundo RI 2 fue el valor máximo encontrado (23,417 kg CH₄/cabeza/año) y en base al sistema de alimentación extensivo en el fundo STR 15 fue el valor mínimo encontrado (26,898 kg CH₄/cabeza/año) y en el fundo EST 20 fue el valor máximo encontrado (40,046 kg CH₄/cabeza/año).

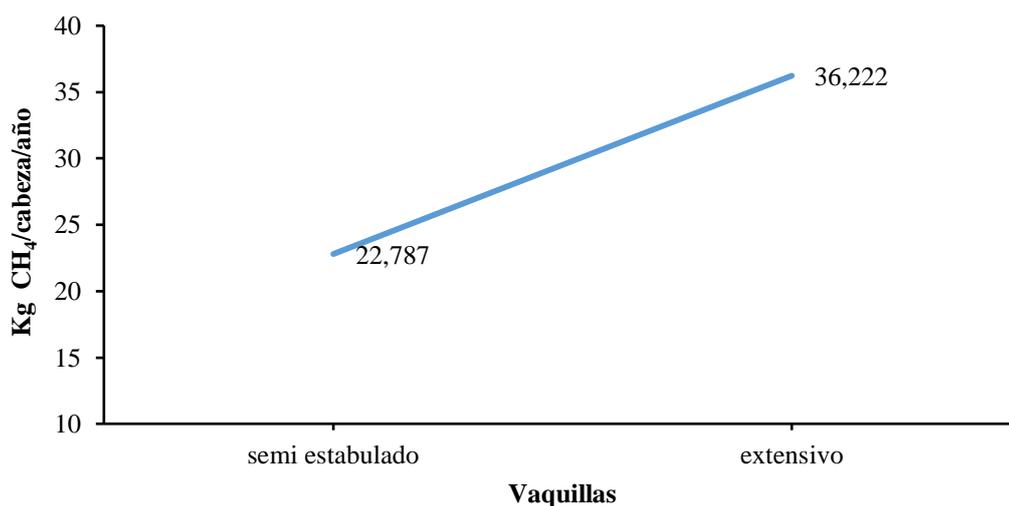


Figura 11. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH₄ respecto a las vaquillas

Finalmente, según la figura 12 y reafirmando lo mostrado por la tabla 35, el sistema de alimentación extensivo es significativamente mayor (36,222 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi-estabulado (22,787 kg CH₄/cabeza/año) referente a los promedios.

Tabla 37

Determinación del factor de emisión CH₄ en terneras

Sistema de alimentación	Energía bruta	Factor de conversión de metano	Factor de emisión de CH ₄
	EB = MJ/día	Y _m = %	FE = kg CH ₄ /cabeza/año
semi estabulado	38,688	5,552	14,088
extensivo	50,388	6,56	21,680

La tabla 36 nos muestra los resultados respecto a la estimación del factor de emisión en cada cabeza de ganado vacuno en razón a la subcategoría terneras, se puede apreciar una diferencia considerable en los promedios del sistema de alimentación extensivo (21,680 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de

alimentación semi-estabulado (14,088 kg CH₄/cabeza/año), además en el apéndice D, tabla D21 de manera detallada se puede apreciar el factor de emisión de CH₄ que en el sistema semi estabulado en el fundo OM 12 el valor fue mínimo (11,625 kg CH₄/cabeza/año) y en el fundo EST 19 el valor fue máximo encontrado (15,756 kg CH₄/cabeza/año), en base al sistema de alimentación extensivo en el fundo RI 3 fue el valor mínimo encontrado (13,477 kg CH₄/cabeza/año) y en el fundo OM 11 fue el valor máximo encontrado (24,865 kg CH₄/cabeza/año).

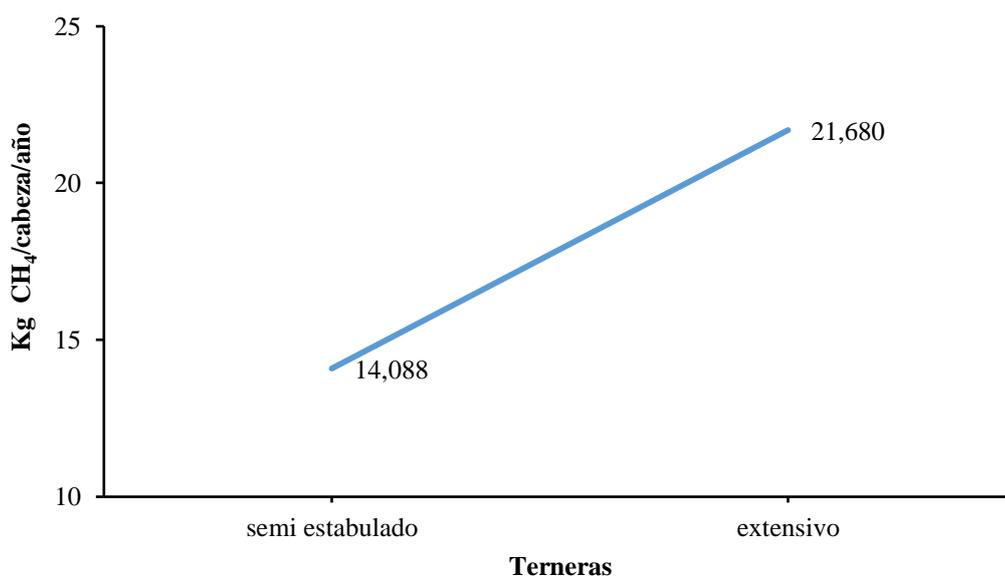


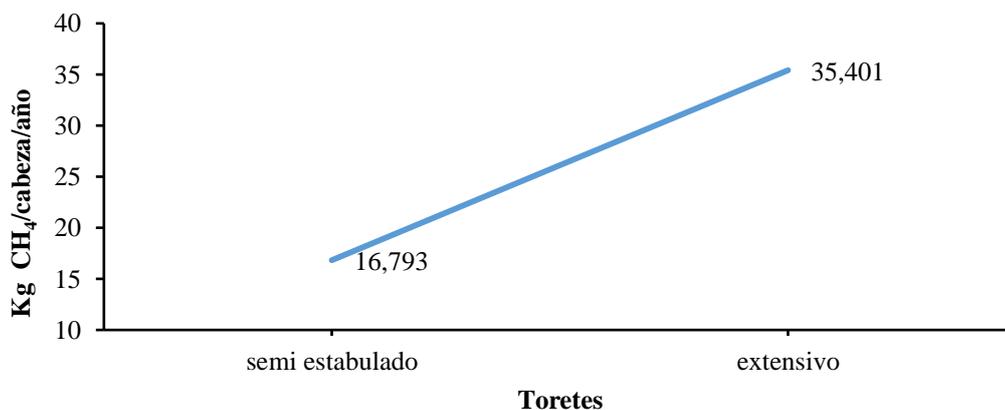
Figura 12. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH₄ respecto a las terneras

Finalmente, según la figura 13 y reafirmando lo mostrado por la tabla 36, el sistema de alimentación extensivo es significativamente mayor (21,680 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi-estabulado (14,088 kg CH₄/cabeza/año) referente a los promedios.

Tabla 38*Determinación del factor de emisión CH₄ en toretes*

Sistema de alimentación	Energía bruta	Factor de conversión de metano	Factor de emisión de CH ₄
	EB = MJ/día	Y _m = %	FE = kg CH ₄ /cabeza/año
semi-estabulado	46,117	5,552	16,793
extensivo	86,123	6,56	35,401

La tabla 37, nos muestra los resultados de la estimación del factor de emisión en cada cabeza de ganado vacuno en razón a la subcategoría toretes, se puede apreciar una diferencia en el sistema de alimentación extensivo (35,401 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi-estabulado (16,793 kg CH₄/cabeza/año), además en el apéndice D, tabla D22 se puede apreciar el factor de emisión en toretes detalladamente que para el sistema semi estabulado en el fundo RI 6 fue un valor mínimo (16,72 kg CH₄/cabeza/año) y en el fundo STR 16 fue un valor máximo (16,83 kg CH₄/cabeza/año) y en base al sistema de alimentación extensivo en el fundo RI 4 fue el valor mínimo encontrado (29,2 kg CH₄/cabeza/año) y en el fundo EST 20 fue el valor máximo encontrado (40,945 kg CH₄/cabeza/año).

*Figura 13. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH₄ respecto a los toretes*

Finalmente, según la figura 13 y reafirmando lo mostrado por la tabla 37, el sistema de alimentación extensivo es significativamente mayor (35,401 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi-estabulado (16,793 kg CH₄/cabeza/año) referente a los promedios.

4.1.3.3.3 Ganado maduro macho.

Tabla 39

Determinación del factor de emisión CH₄ en toros

Sistema de alimentación	Energía bruta	Factor de conversión de metano	Factor de emisión de CH ₄
	EB = MJ/día	Y _m = %	FE = Kg CH ₄ /cabeza/año
semi estabulado	155,599	5,552	56,661
extensivo	220,995	6,56	95,086

La tabla 38 nos muestra los resultados del factor de emisión en cada cabeza de ganado vacuno en razón a la subcategoría toros, se puede apreciar una diferencia considerable de los promedios en el sistema de alimentación extensivo (95,086 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi estabulado (56,661 kg CH₄/cabeza/año), además en el apéndice D, tabla D23 de manera detallada se puede apreciar el factor de emisión en toros que para el sistema semi estabulado solo existe dos fundos con cabezas de toros el RI 6 (58,51 kg CH₄/cabeza/año) y el STR 16 (54,813 kg CH₄/cabeza/año) y en base al sistema de alimentación extensivo solo un fundo, el STR (95,085 kg CH₄/cabeza/año).

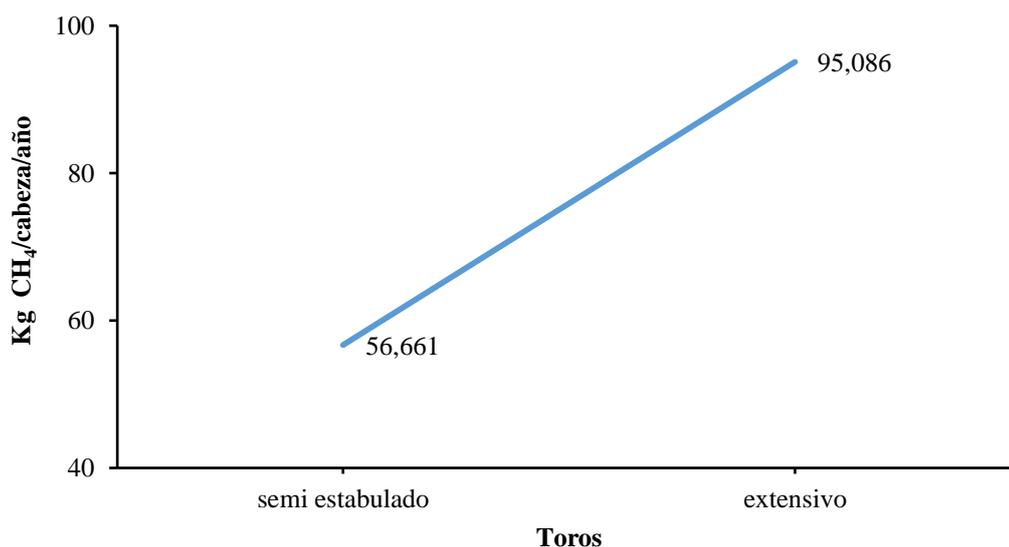


Figura 14. Comparación de los promedios del factor de emisión de CH₄ respecto a los toros

Finalmente, según la figura 15 y reafirmando lo mostrado por la tabla 38, el sistema de alimentación extensivo es significativamente mayor (95,086 kg CH₄/cabeza/año) respecto al sistema de alimentación semi-estabulado (56,661 kg CH₄/cabeza/año) referente a los promedios.

Tabla 40

Resumen de los promedios del factor de emisión CH₄ por subcategoría de ganado vacuno

Subcategoría	Promedio del factor de emisión [Kg CH ₄ / (cabeza /año)]
Sistema de alimentación semi estabulado	
Vacas lecheras en producción	130,0798
Vacas lecheras en seca	49,0311
Vaquillonas	34,3056
Vaquillas	22,7868
Terneras	14,0883
Toretas	16,7934
Toros	56,6609

Sistema de alimentación extensivo	
Vacas lecheras en producción	191,8653
Vacas lecheras en seca	85,4802
Vaquillonas	58,4729
Vaquillas	36,2224
Terneras	21,6798
Toretas	35,4013
Toros	95,0855

La tabla 39, nos muestra el resumen de los promedios del factor de conversión por cada cabeza y categoría de ganado vacuno, en el que se ve una tendencia mayor en el sistema de alimentación extensivo frente al sistema de alimentación semi estabulado, esa diferencia refleja el modo de alimentación en cada sistema descrito anteriormente (ver apéndice D para obtener información detallada).

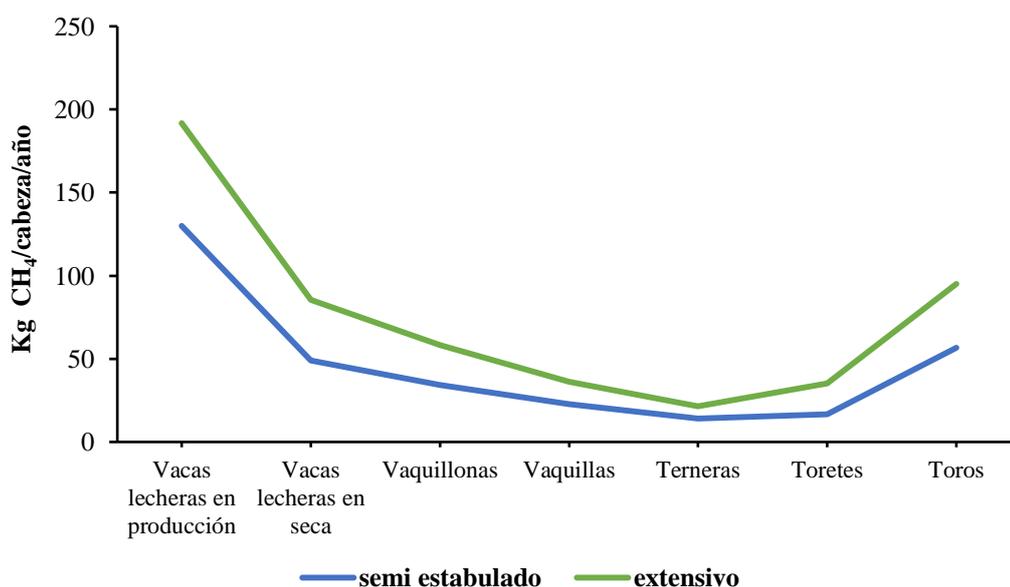


Figura 15. Resumen de los promedios del factor de emisión de CH₄ por cada categoría de ganado

Finalmente, según la figura 16, y de acuerdo a la tabla 39, se observa que el sistema de alimentación extensivo es mayor en todas las subcategorías de ganado

vacuno frente a los valores del sistema de alimentación semi estabulado.

4.1.4 Emisiones totales.

Tabla 41

Resumen de las emisiones de CH₄ obtenidas por categoría mediante el software IPCC 2006

Subcategoría	Número de animales (cabeza)	Factor de emisión [Kg CH ₄ / (cabeza /año)]	Emisiones de CH ₄ (Gg CH ₄ /año)
Sistema de alimentación semi estabulado			
Vacas lecheras en producción	114	130,0798	0,01516
Vacas lecheras en seca	29	49,0311	0,00121
Vaquillonas	18	34,3056	0,00051
Vaquillas	28	22,7868	0,00046
Terneros	37	14,0883	0
Toretas	7	16,7934	0
Toros	2	56,6609	0
SUB TOTAL	235	-	0,01734
Sistema de alimentación extensivo			
Vacas lecheras en producción	89	191,8653	0,01703
Vacas lecheras en seca	25	85,4802	0,00178
Vaquillonas	21	58,4729	0,00094
Vaquillas	15	36,2224	0,00035
Terneros	21	21,6798	0
Toretas	18	35,4013	0,0005
Toros	1	95,0855	0
SUB TOTAL	190	-	0,0206
TOTAL	425		0,0407 Gg CH ₄ /año
			0,81 Gg CO ₂ e

La tabla 40, muestra los promedios obtenidos sobre las emisiones totales para el

sistema de alimentación semi estabulado fueron para el ganado lechero que comprende a las vacas lecheras en producción (0,01516 Gg CH₄ /año), vacas lecheras en seca (0,00121 Gg CH₄ /año); para el ganado en crecimiento que agrupa a las vaquillonas (0,00051 Gg CH₄ /año), vaquillas (0,00046 Gg CH₄ /año), para los terneros la emisión de gas metano no es perceptible al igual que para los toretes y toros.

Los valores fueron, para el sistema de alimentación extensivo comprendido en el ganado lechero en relación a las vacas lecheras en producción (0,01703 Gg CH₄ /año), vacas lecheras en seca (0,00178 Gg CH₄ /año); para el ganado en crecimiento que agrupa a las vaquillonas (0,00094 Gg CH₄ /año), vaquillas (0,00035 Gg CH₄ /año), toretes (0,0005 Gg CH₄ /año) para los terneros la emisión de gas metano no es perceptible al igual que para los toretes y toros (ver apéndice D para obtener información detallada).

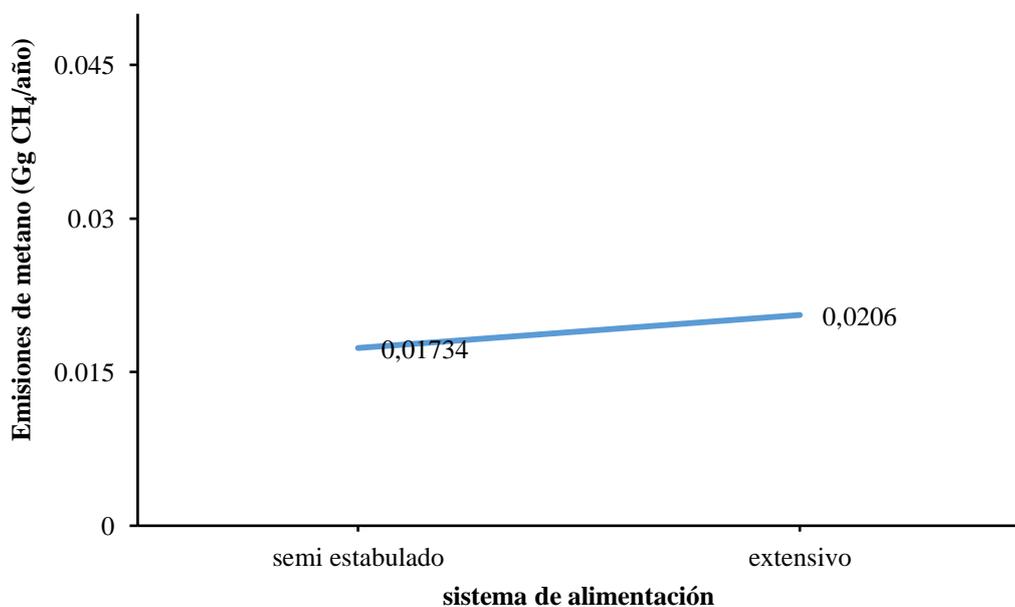


Figura 16. Comparación de los promedios del factor de emisión y las emisiones de CH₄ por sistema de alimentación

Finalmente, según la figura 17, y de acuerdo a la tabla 40, se observa que los valores para el sistema de alimentación extensivo fueron las más significantes (0,0206 Gg CH₄/año), frente al sistema de alimentación semi estabulado (0,01734 Gg CH₄/año) obteniéndose un valor total de emisiones de gas metano (0,0407 Gg CH₄/año), el cual expresado fue expresado en giga dióxido de carbono equivalente (0,81 Gg CO_{2e}).

4.2 Contrastación de hipótesis

4.2.1 Hipótesis general.

Después de haber utilizado el software y habiendo sistematizado los resultados obtenidos en el programa, fue posible estimar los niveles de gas metano generado por el ganado vacuno mediante las directrices del modelo en el ambiente del distrito de Moquegua.

4.2.2 Hipótesis específicas.

Los factores intrínsecos del ganado vacuno influyeron en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua.

Los factores extrínsecos del ganado vacuno influyeron en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua.

La fermentación entérica del ganado vacuno influyó en la estimación del gas metano en el distrito de Moquegua.

4.3 Discusión de resultados

La presente investigación tuvo como objetivo estimar los niveles de gas metano generado por el ganado vacuno mediante las directrices del modelo IPCC en el ambiente del distrito de Moquegua.

El software genera cuatro campos para obtener los resultados que están acordes a los fines de la investigación: población de ganado vacuno, ingesta diaria promedio de alimento, factor de emisión de CH₄, emisiones de metano por fermentación entérica, todo lo mencionado en torno al objetivo del estudio.

Los resultados obtenidos de los factores intrínsecos sobre la caracterización del ganado vacuno desde la definición de las categorías de ganado lechero, en crecimiento y maduro los datos fueron recopilados por establo a través de las encuestas y entrevistas, estos datos primarios (caracterización del ganado vacuno) son la base para que se pueda estimar en el software, la temperatura fue un indicador importante porque transversalmente el programa considera la temperatura promedio (24°C).

En base a la sistematización la evaluación se centra en 425 individuos (cabeza de ganado vacuno) en estudio de 22 fundos visitados en los cuatro sectores existentes, para facilitar el estudio se ha codificado cada fundo y obtenido los datos por cada categoría mencionada, sea ganado lechero, ganado en crecimiento y ganado maduro, fueron evaluados en el sistema de alimentación semi estabulado 235 cabezas y en el sistema de alimentación extensivo 190 cabezas. Además, el peso vivo (kg), la producción diaria promedio de leche (kg/día), contenido graso de leche (%), cantidad de crías producidas al año (%), digestibilidad del alimento (DE)

por categoría, son datos esenciales que se han recopilado en campo por cada fundo evaluado. Precizando que fueron más los fundos visitados en el sistema de alimentación extensivo, pero con menor cantidad de cabezas de ganado vacuno a diferencia del sistema de alimentación semi estabulado menor cantidad de fundos visitados pero mayor cantidad de cabezas de ganado vacuno.

Los resultados obtenidos de los factores extrínsecos del ganado vacuno sobre la ingesta de alimentos (comportamiento y dieta animal) se basan en la energía bruta (EB), por ejemplo para el sistema de alimentación semi estabulado la ingesta de alimentos tiene un valor máximo en las vacas en producción (357,22 MJ/día) y en el sistema de alimentación extensiva de la misma manera el valor máximo la tienen las vacas en producción (445,93 MJ/día) existiendo una diferencia numérica frente a las demás subcategorías sobre la base de la suma de la energía neta para mantenimiento (ENm), actividad (ENa), crecimiento (ENc), lactancia (ENl), trabajo (ENt), embarazo (ENe), digestibilidad del alimento (DE %), la relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digestible consumida (REM) y la relación entre la energía neta disponible para el crecimiento de una dieta y la energía digestible consumida (REG).

Cabe mencionar que en los sistemas de alimentación semi estabulado y extensivo se puede apreciar claramente que para obtener la energía bruta (EB) a excepción de la digestibilidad (DE%) que es un indicador constante, la energía neta para la lactancia (ENl) y la energía neta para el embarazo (ENe) influyen para que el software respecto a la energía bruta (EB) exporte datos mayores y eso se debe a que conforme mayor sea la actividad mayor es el consumo de alimento eso significa

que la fermentación entérica en los resultados pueda salir o elevado o mínimo, el mismo dependerá del sistema de alimentación del ganado vacuno.

Los resultados obtenidos de la fermentación entérica por el ganado vacuno son la obtención del factor de emisión (FE) anual por cada cabeza de ganado vacuno distribuido por las categorías, de acuerdo a los resultados según el software en la presente investigación, se ha evidenciado que los sistemas de alimentación, en las condiciones del valle de Moquegua, denotan diferencias significativas en la emisión de CH₄ de la fermentación entérica en todas las categorías de ganado vacuno, se observó que el ganado vacuno del sistema de alimentación semi-estabulado generan menor cantidad de CH₄ en mención a la categoría ganado lechero sean las vacas lecheras en producción (130,08 kg/cabeza/año), vacas lecheras en seca (49,03 kg/cabeza/año); en la categoría de ganado en crecimiento sean las vaquillonas (34,31 kg/cabeza/año), vaquillas (22,79 kg/cabeza/año), terneras (14,09 kg/cabeza/año), toretes (16,79 kg/cabeza/año); en la categoría de ganado maduro macho sean los toros (56,66 kg/cabeza/año).

En comparación el sistema de alimentación extensivo genera mayor cantidad en los valores del factor de emisión (FE), para la categoría ganado lechero sea las vacas lecheras en producción (191,87 kg/cabeza/año), vacas lecheras en seca (85,48 kg/cabeza/año); en la categoría de ganado en crecimiento sean las vaquillonas (58,47 kg/cabeza/año), vaquillas (36,22 kg/cabeza/año), terneras (21,68 kg/cabeza/año), toretes (35,40 kg/cabeza/año); en la categoría de ganado maduro macho sean los toros (95,085 kg/cabeza/año).

Estas diferencias están atribuidas a diferentes factores principalmente al sistema de alimentación y el comportamiento en cada una de ellas, en tal sentido obedecerían al peso por unidades experimentales (620 ± 35 kg), de acuerdo con Donney's (2015) las emisiones de metano dependen en gran medida de los factores intrínsecos del animal como la categoría, peso, raza, edad, producción de leche, además, de acuerdo con Gerber et al. (2013) señala que el peso vivo es un factor importante que contribuye a las emisiones de los gases de efecto invernadero a través de los requerimientos de energía para el mantenimiento, otro elemento influyente también fue la producción de leche como un factor intrínseco, Obando (2011) determina que existe una relación entre la producción de metano y la producción de leche, y que se debe directamente a la digestibilidad de la dieta, consecuentemente a un uso más eficiente de la energía en el sistema estabulado y semi estabulado.

También obedecería a la obtención del alimento ya que es aprovechado indistintamente, para el sistema de alimentación semi estabulado se tiene una mejor alimentación ya que es balanceado en alfalfa, ensilado, concentrado, y otros aportantes por ende mejor aprovechamiento de nutrientes a diferencia que en el extensivo el consumo de alimento es indiscriminado, basándose en que el ganado vacuno debe consumir el 10 % de su peso corporal esta se centra en la alfalfa y en mínima cantidad de concentrado, su aprovechamiento de nutrientes es mínimo, según Alvarado (2018), indica que la cantidad de la dieta también tiene efecto sobre las emisiones de metano entérico, donde la reducción de las emisiones esta correlacionada con mejor calidad y digestibilidad de los nutrientes.

En tal sentido, para la obtención de los resultados de la fermentación entérica del ganado vacuno intervienen los factores intrínsecos ya mencionados,

extrínsecos basada en la suma de las energías para la obtención de la energía bruta (EB) y la fermentación entérica que está fundamentada en la digestibilidad del alimento (DE), la determinación del factor de conversión (Y_m), con todo ello se pudo valorar el factor de emisión (FE). Por ello, una vez que se ha obtenido los valores de digestibilidad 64 - 55 % para los sistemas de alimentación semi estabulado y extensivo respectivamente se pudo calcular el valor del factor de conversión (Y_m) 5,552 - 6,56 % para los sistemas de alimentación respectivamente, considerando que frente a la digestibilidad del alimento (DE) tienen una correlación negativa, eso quiere decir que si la digestibilidad (DE) es menor, el factor de conversión (Y_m) deberá ser mayor, justificando así a los valores obtenidos por cada sistema ya que fueron determinantes en el desarrollo del estudio para poder estimar adecuadamente el factor emisión (FE) en condiciones del valle, el estudio se sustentó en las guías y directrices emitidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, utilizando el software.

Sobre el resultado de los niveles del factor de emisión, referente al ganado lechero (vacas lecheras en producción) en el sistema de alimentación semi estabulado son los más elevados (130,08 kg CH_4 /cabeza/año) a comparación del sistema de alimentación extensivo (191,87 kg /cabeza/año), fueron comparados con los factores de emisión por fermentación entérica de las directrices del IPCC en un nivel 2, concluyendo que respecto a América Latina y del Norte los niveles encontrados en el estudio muestran un ligero aumento frente a la estimación del guía desarrollado por el panel de expertos entendiéndose que para el ganado lechero el valor predeterminado es de 63 kg CH_4 /cabeza/año (América Latina) y 121 kg CH_4 /cabeza/año (América del Norte), asimismo para otros vacunos 56 kg

CH₄/cabeza/año (América Latina) esos valores son menores a los determinados por el trabajo investigativo, esta diferencia puede ser por que el estudio fue desarrollado con datos específicos de la región, la digestibilidad (DE), el factor de conversión (Ym), las condiciones climáticas ya que las características de cada lugar inciden en los procesos digestivos y determinan el balance de sus productos finales.

Tabla 42

Datos por región del factor de emisión del IPCC en un nivel 2

Región	Categoría de ganado	Factor de emisión (kg CH ₄ /cabeza/año)	Nivel
América del Norte	Lechero	121	Alto
	Otros vacunos	53	
Europa occidental	Lechero	109	Alto
	Otros vacunos	57	
Europa oriental	Lechero	89	Alto
	Otros vacunos	58	
Oceanía	Lechero	81	Intermedio
	Otros vacunos	60	
América latina	Lechero	63	Intermedio
	Otros vacunos	56	
Asia	Lechero	61	Intermedio
	Otros vacunos	47	
África y Oriente Medio	Lechero	40	Bajo
	Otros vacunos	31	
Subcontinente indio	Lechero	51	Bajo
	Otros vacunos	27	

Fuente: IPCC, 2006

Nota: Los expertos del IPCC mencionan que los datos que se consignan están con un 30 % de incertidumbre sobre los factores de conversión obtenidos como datos predeterminados derivándose sobre la base de las características del ganado y de los alimentos de interés, además hacen un llamado a que no se restrinjan únicamente a las características de la región (América Latina) y se alienta a utilizar datos locales más específicos sobre producción de leche, digestibilidad, Ym, entre otros.

Finalmente, la tabla 41 muestra el nivel de emisión de gas metano por ganado vacuno seccionado por regiones, entre niveles bajo a alto, en ese énfasis los valores del estudio están en el nivel promedio de emisiones mundiales, sin embargo según el IPCC el nivel es elevado comparado con los datos de América Latina y del Norte en ganado lechero, para la categoría otro vacuno que abarca ganado en crecimiento

y ganado maduro según las directrices mantiene el nivel promedio respecto a la región de América Latina, como se aprecia en la tabla 42 además se debe considerar el nivel de incertidumbre del 30 %.

Tabla 43

Comparación de resultados del estudio por niveles

Categoría	Rango				Región	Nivel
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
	Semi estabulado		Extensivo			
Lechero	49,0311	130,0798	85,4802	191,8663	América Latina y del Norte	Medio - Alto
Crecimiento Otros vacunos (maduro macho)	14,0883	34,0311	21,6798	58,4729	América Latina	Medio
		56,6609		95,0855		

Asimismo, los estudios desarrollados en otras regiones del Perú bajo análogas condiciones climáticas tienen similares reportes a los valores logrados en este estudio tales investigaciones como la de Obando (2011) quien realizó el estudio “estimación del factor de emisión de metano, bajo diferentes sistemas de alimentación y fases del ciclo de gestación-lactancia de la vaca lechera, en la irrigación de Majes.” Desarrollada en 24 hatos lecheros obteniendo cifras para el sistema de alimentación intensivo (141,138 kg CH₄/cabeza/año) y para el sistema mixto o semi-estabulado (125,608 kg CH₄/cabeza/año).

Otro estudio desarrollado por Vizcarra (2012), sobre la “estimación de la emisión de metano producida por la ganadería bajo condiciones del valle de Moquegua” desarrollada en 16 hatos lecheros obteniendo valores para el sistema de

alimentación semi estabulado (148,55 kg CH₄/cabeza/año) y para el sistema extensivo (151,34 kg CH₄/cabeza/año).

El estudio de Puente de la Vega (2015), sobre la “relación entre el factor de emisión de metano entérico y la composición nutricional de la ración en vacas lecheras de la irrigación Majes, Arequipa” obteniendo valores para el sistema de alimentación intensivo (146,39 kg CH₄/cabeza/año) y para el sistema de alimentación semi-estabulado (156,05 kg CH₄/cabeza/año).

Lo cual indica que se ha desarrollado el estudio logrando resultados verídicos, además cabe mencionar que los estudios similares se han centrado en el ganado lechero mas no se ha realizado la evaluación en ganado en crecimiento, ni ganado maduro a diferencia del estudio que se ha realizado considerando las diferentes categorías de ganado vacuno.

Los resultados finales obtenidos de la emisión de CH₄ por fermentación entérica a través del software, fueron trabajados en el nivel de significancia (α) 0.05 considerado por el programa como el grado de la incertidumbre, se expresan en la multiplicación de los factores de emisión por la población animal asociada en cada categoría y se suman, los niveles finales de emisión se consideran en hasta cuatro cifras para alcanzar datos más exactos expresados en Gg CH₄/año, bajo ese preámbulo se ha comparado ambos sistemas y sumado obteniéndose el nivel de emisión total en el ganado vacuno en condiciones del valle de Moquegua, siendo el valor de 0,0407 Gg CH₄/año, en los niveles de emisión con referencia a los promedios por cada cabeza y categoría de ganado vacuno se puede observar una tendencia mayor en el sistema de alimentación extensivo frente al sistema de

alimentación semi estabulado y refleja lo mencionado por Fernández et al. (2007) citado por Ocas (2019) el ganado vacuno es el segundo mayor contribuyente al total de emisión de metano en el sector agricultura en el país, proveniente principalmente de ganado bajo sistemas al pastoreo eso por la baja calidad de forraje (pasturas). La diferencia refleja el modo de alimentación en cada sistema descrito anteriormente además respecto a la distribución de los individuos por categoría se debe básicamente a la finalidad de la crianza, ya que en el valle de Moquegua la finalidad es netamente lechero, son pocos los hatos que cuentan con cabezas de ganado para beneficio (toretos) y es raro que un fundo pueda contar con individuos para tiro (toro), sabiendo que la mayoría de los productores para que su ganado sea preñado opta por la inseminación.

Además el resultado final fue expresado según MINAM (2016a) en base a la Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático tomando en cuenta a INGEI (2012) quien alcanza los resultados del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero para el Perú, quien reporta para el sector agricultura como el tercer sector con emisiones más altas con una contribución de 26 043,68 GgCO₂e que representa el 15,20 % dentro de ellas está la fermentación entérica con una contribución de 10 735,14 GgCO₂e que representa el 41,22 % de dicho sector siendo el segundo aportante máximo por debajo de los suelos agrícolas y el 6,27 % de emisiones totales, frente a ello el resultado final del nivel de emisión total generado en el estudio fue expresado en Giga gramos de dióxido de carbono equivalente a 0,81 GgCO₂e siendo ese valor el aporte del estudio efectuado a las emisiones nacionales.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Primera. A través de la caracterización de los parámetros se describieron los factores intrínsecos del ganado vacuno por cada sistema de alimentación evaluados en 22 fundos ganaderos comprendiendo una población media anual de 425 unidades experimentales en las tres categorías de ganado vacuno (lechero, crecimiento, maduro macho), peso vivo (35 a 620 kg), producción promedio leche (17,5 a 35 kg/día), contenido graso de leche (3,2 a 3,5 %), cantidad de crías producidas al año (70 %), aumento de peso promedio (0,137 a 0,25 kg/día), peso maduro (490 a 650 kg).

Segunda. Se determinó los factores extrínsecos del ganado vacuno en la dimensión de la ingesta de alimentos (comportamiento y dieta animal) que comprende la suma de la energía neta para el mantenimiento, actividad, crecimiento, lactancia, trabajo, embarazo, digestibilidad del alimento,

REM, REG para la obtención de la energía bruta (EB), mediante el software.

Tercera. La gestión del alimento, la digestibilidad (DE) y el factor de conversión (Y_m) son parámetros influyentes en la determinación del factor de emisión CH_4 de la fermentación entérica considerando al sistema de alimentación extensivo con mayores niveles de emisión metano promedio en todas las subcategorías respecto al semi estabulado reflejado sobre todo en el ganado lechero en producción ($V_p = 130,08 - 191,865$) respectivamente expresado en $kg CH_4/cabeza/año$.

Cuarta. Se estimaron los niveles de emisión de CH_4 total de cada categoría de ganado vacuno analizada en los dos sistemas de alimentación (semi estabulado y extensivo) en condiciones del valle del distrito de Moquegua, sustentándose en las directrices emitidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático utilizando el software IPCC 2006 versión 2,69, la obtención del nivel total de emisión resulto en $0,0407 Gg CH_4/año$, finalmente representa el $0,81 Gg CO_2eq$ como aporte al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

5.2 Recomendaciones

Primera. Debido a que la ganadería en nuestro país es una actividad constante y una fuente de emisión de GEI que representa el 41,22 % del sector agricultura y el 6,27 % del total global, es necesario realizar más investigaciones sobre emisión de CH₄ por fermentación entérica relacionado con la gestión de la alimentación y las necesidades energéticas por cada subcategoría animal en diferentes sistemas de alimentación, entendiéndose que los últimos resultados de emisiones atmosféricas fueron reportados en el 2014, y en la actualidad es escasa la información en materia pecuaria.

Segunda. Para la cuantificación más detallada del CH₄ entérico, se recomienda el uso del nivel 3 en base a las directrices del IPCC 2006, y adaptarla al uso del software con datos más específicos sobre la caracterización de las dietas que consume el ganado vacuno, así como las necesidades energéticas de estudio, con la finalidad de obtener datos aún más precisos.

Tercera. Analizar diferentes alternativas comprendidas en el manejo del forraje y la suplementación a la dieta animal que incluyan cambios fermentativos que deben ser considerados para obtener mejores parámetros productivos con menores emisiones de metano bajo las condiciones mencionadas, los sistemas pastoriles pueden ser una alternativa para mejorar la calidad de la dieta y por lo tanto disminuir las emisiones de gases, primordialmente la del metano.

Cuarta. Efectuar la mejora de Y_m considerando la escasa información con la que se dispone siendo una variable en conjunto con la digestibilidad del alimento que afectan directamente al cálculo de FE y como resultado a la medición de las emisiones de GEI, por lo que es importante obtener datos más refinados, siendo los parámetros más influyentes, para que cuando se aplique las directrices usando el software IPCC 2006 se pueda valorar con mayor exactitud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, V. (2018). *Emisión de metano entérico de vacas en lactación con pastos cultivados en zona altoandina - estación lluviosa y seca* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3585>
- Bhatta, R., Enishi, O., & Kurihara, M. (2007). *Measurement of methane production from ruminants* [versión PDF]. Asian-Australasian: Animal Science. Recuperado de <https://www.ajas.info/upload/pdf/20-181.pdf>
- Bonilla, J. & Lemus, C. (Junio de 2012). *Revista Mexicana de Ciencias Agropecuarias* [versión PDF]. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200711242012000200006
- Cambrá, M., García, P., Estellés, F., & Torres, A. (2008). *Estimaciones de las emisiones de los rumiantes en España: el factor de conversión de metano* [versión PDF]. Universidad Politécnica de Valencia. España: Instituto de Ciencia y Tecnología Animal. Recuperado de http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/21_17_10_d.pdf
- Cárdenas, C. (2004). *Biotipología del ganado vacuno de la Provincia de Leoncio Prado* (tesis de pregrado). Tingo María: Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional de la Selva. Recuperado de <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/867/ZT-354.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carmona, J., Bolívar, D., & Giraldo, L. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo [versión PDF]. *Colombiana de ciencias*

pecuarias. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf>

Delgado, L. (2018). *Alternativas de reducción de quema y venteo de gas asociado en la industria petrolera*. Bogota, Colombia: Fundación Universidad de America. Recuperado de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7125/1/262651-2018%20I-GA.pdf>

Dongo, M. (2018). *Evaluación de las metodologías de estimación de emisiones de gases de efecto invernadero y resultados actuales en el Perú* [trabajo monográfico]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3598/dongo-roman-mayra-nataly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Donney's, G. (2015). *Evaluación de las emisiones entéricas de metano en vacas lecheras bajo trópico alto con o sin la inclusión de botón de oro (Tithonia diversifolia)* (tesis de postgrado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/56288/1/1130639425.2017.pdf>

Espíritu Inc. (2019). *Inventario de software del IPCC 2.69* [versión PDF]. manual, Bratislava, República Eslovaca. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/files/IPCCInventorySoftwareUserManualV2_69.pdf

Fernández, M., García, M., & Gómez, C. (2007). *Emisión de metano y sistemas de producción animal en el Perú: implicancias nutricionales* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Tempio, G. (2013). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Evidence-based picture of emissions with data broken down by species, agroecological zones, regions and production systems.*
- Gerencia Regional de Agricultura [GRA]. (2017). *Anuario estadístico agropecuario 2017* [versión PDF]. Recuperado de <https://www.agromoquegua.gob.pe/>
- Gerencia Regional de Agricultura [GRA]. (2018). *Anuario estadístico agropecuario* [versión PDF]. Recuperado de <https://www.agromoquegua.gob.pe/>
- Girón, C. A. (2006). *Estimación del peso corporal en ganado de engorde a través de la medición del perímetro torácico con una cinta métrica graduada* (tesis de pregrado). Guatemala: Universidad de San Carlos. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4123/1/Tesis%20Med%20Vet%20C%20C3%A9sar%20Cesar%20Gir%C3%B3n%20S%C3%A1nchez.pdf>
- González, N., Galindo, J., Aldana, A., y Moreira, O. (2006). Evaluación de diferentes variedades de morera (*Morus alba*) en el control de la metanogénesis en líquido ruminal de búfalos.
- INGEI. (2012). *Inventario nacional de gases de efecto invernadero* [versión PDF]. Recuperado de <http://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/2012.pdf>
- INGEI. (2014). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2014 y actualización de las estimaciones de los años 2000, 2005, 2010 y 2012.* Perú: Dirección General de Cambio Climático y Desertificación [versión

PDF]. Recuperado de <http://infocarbono.minam.gob.pe/annios-inventarios-nacionales-gei/ingei-2014/>.

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2007). *Panorama de la Economía Peruana* [versión PDF]. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1424/libro.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2012). *IV Censo nacional agropecuario 2012 CENAGRO*. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/Cenagro/redatam/>

IPCC. (2013). *Contribución del grupo de trabajo: quinto informe de evaluación del IPCC*. (T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen , J. Boshung, V. Bex, Edits.) *Quinto informe de evaluación*. Recuperado de https://www.mnhn.gob.cl/613/w3-article-49196.html?_noredirect=1

Johnson, D., y Ward, G. (1995). Estimates of animal methane emissions. *Environ. Monit. Assess.*, 42:133-141.

Johnson, K., y Johnson , D. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of animal science*, 73:2483-92. Recuperado de <http://webpages.icav.up.pt/PTDC/CVT/098487/2008/Johnson,%201995.pdf>

Kendall, A. y Rodríguez,A. (2009). *Desarrollo Y perspectivas de los Sistemas de Andenería de los Andes Centrales del Perú*. Cuzco: Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas.

Lasseby, K. (2007). Emisión de metano del ganado: desde el animal de pastoreo individual a través de inventarios nacionales hasta el ciclo global de metano. *Agricultural and forest meteorology*, volumen 142, pág. 120 - 132.

- León, C., Quiroz, R., Cañas, R., Osorio, J., Guerrero, J., y Pezo, D. (2006). *Life – Sim: Livestock Feeding Strategies; Simulation models, International Potato Center*. Lima Perú: Natural Resources Management.
- Luque, J. (2016). *El gas metano y su relación con las actividades ganaderas de la provincia de Manabí, Ecuador*. Manabí, Ecuador: Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM. Obtenido de <https://docplayer.es/73754528-El-gas-metano-y-su-relacion-con-las-actividades-ganaderas-de-la-provincia-de-manabi-ecuador.html>
- Marín, A. (2013). *Estimación del inventario de emisiones de metano entérico de ganado lechero en el departamento de Antioquia (tesis de postgrado)*. Universidad Nacional de Colombia, Antioquia, Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11666/1/43979169.2014.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2016). *Calidad de leche [versión PDF]*. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal//download/pdf/herramientas/organizaciones/dgpa/documentos/queso.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2018). *Anuario estadístico: producción pecuaria y avícola [versión PDF]*. Recuperado de <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuario-de-produccion-pecuaria>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2011). *Plan Nacional de Acción Ambiental - PLANNA [versión PDF]*. Recuperado de <http://www.minedu.gob.pe/comision-sectorial/pdf/planes/planaa-2011.pdf>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). *Política Nacional del Ambiente [versión PDF]*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/>

wp-content/uploads/sites/11/2013/10/LINEAMIENTOS-FINAL03.07.pdf

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2016a). El Perú y el Cambio Climático. *Tercera Comunicación Nacional del Perú a la convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* [versión PDF]. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicacion-C3%B3n.pdf>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2016b). *Gestión Clima: Integrando la gestión del cambio climático en todos los sectores y niveles de gobierno* [versión PDF]. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/sdfsdfdsfsafasdafdf.pdf>

NRC, N. R. (2001). *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Washington., DC: 7th Revised Ed., Nat. Acad. Press. Recuperado de https://www.academia.edu/20337868/Nutrient_Requirements_of_Beef_Cattle_Kebutuhan_Nutrisi_Sai

Obando, A. (2011). *estimación del factor de emisión de metano, bajo diferentes sistemas de alimentación y fases deel ciclo gestación-lactancia de la vaca lechera (tesis pregrado)*. Irrigación Majes.

Ocas, P. (2019). *Emisión de metano en dos razas de vacunos lecheros (Holstein y Browns Swiss) con dos tipos de alimento (pastura y pastura más concentrado)*. Cajamarca: Universidad Nacional. Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3447/EMISION%20DE%20METANO%20EN%20DOS%20RAZAS%20DE%20VACUNOS%20LECHEROS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2013). *Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernaderos en la*

producción ganadera. (J. Pierre, B. Henderson, & P. Harinder, Edits.)
Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3288s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO].
(11 de Diciembre de 2006). *Modelo de la Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM)*. Obtenido de <http://www.fao.org/gleam/resu>
[Its/es/](http://www.fao.org/gleam/resu)

Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC]. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: capítulo 10, emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol* [plataforma virtual]. (H. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Edits.) Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>

Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC]. (2007). *Summary for policymakers. In: climate change 2007: the physical science basis. contribution of working group i to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, USA.

Pinares-Patiño, C., Ulyatt, M., Lassey, K., Barry, T., y Holmes, C. (2003). Persistence of differences between sheep in methane emission under generous grazing conditions. *J. Agr. Sci.*, 140: 227-233.

Presidencia del Consejo de Ministros [PCM]. (2018). *Centro Nacional de Planeamiento Estratégico* [versión PDF]. Recuperado de <https://www.ceplan.gob.pe/sinaplan/plan-bicentenario-2/>

- Puente de la Vega, E. (2015). *Relación entre el factor de emisión de metano entérico y la composición nutricional de la ración en vacas lecheras de la irrigación*. Majes, Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Recuperado de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/9365/D7.1224.MG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruiz, D. (2018). *Emisión de Gases de Efecto Invernadero en los sistemas de producción bovina Fleckvieh, en la región Amazonas* (tesis de pregrado). Chachapoyas, Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Obtenido de <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1419/Deysi%20Yenny%20Ruiz%20Llontop.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, A. (2010). *Parámetros reproductivos de bovinos en regiones tropicales de Mexico, Veracruz, Universidad Veracruzana* [versión PDF]. Recuperado de https://www.uv.mx/personal/avillagomez/files/2012/12/Sanchez-2010._Parametrosreproductivos-bovinos.pdf
- Servicio para la Comunidad Agropecuaria [AGROBIT]. (2019). *Ganadería: Composición de la leche y valor nutritivo*. Recuperado de http://www.agrobit.com/Info_tecnica/Ganaderia/prod_lechera/GA000002p_r.htm
- Shibata, M., & Terada, F. (2010). Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. *Journal of animal science*, 8:2-10.
- Steinfeld, H., Gerber, P. J., Wassenaar, T., & Castel, V. (2009). *La Larga Sombra del Gandado: Problemas Ambientales y Opciones* [versión PDF]. *FAO*,

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0701s.pdf>

Ulyatt, M., Lassey, K., Shelton, I., y Walker, C. (2002). Emisión de metano de vacas lecheras y ovejas alimentadas con pastos subtropicales dominantes de pasto en pleno verano en nueva Zelanda . *New Zealand journal of agricultural research*, volumen 45, número 4.

Valcárcel, G. (2011). *Razones para sentirse orgullosos de Moquegua*. Moquegua: PeruExperience.

Vilca, G. (2015). *Efecto del concentrado fibroso sobre las emisiones de metano enterico (CH₄) en vacas lecheras*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/U_NAP/2390/Vilca_Oblitas_%20Gyorgy.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vizcarra, R. (2012). *Estimación de la emisión del metano producido por la ganadería de vacunos bajo condiciones del valle de Moquegua* (tesis de pregrado). Moquegua: Facultad de Ingenierías de la Universidad Jose Carlos Mariategui.

Yañez, E., y Gualdrón, M. (2014). *Metodología para la identificación y cuantificación de emisiones fugitivas de metano en campos de producción*. Colombia : Instituto Colombiano del petróleo.

Zúñiga, N. (2016). *Estimación de las emisiones en bovinos en los sistemas de producción lechera en pequeña escala a través del factor de conversión de metano* (tesis doctoral). México: Universidad Autónoma del Estado. Recuperado de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle>