

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL**

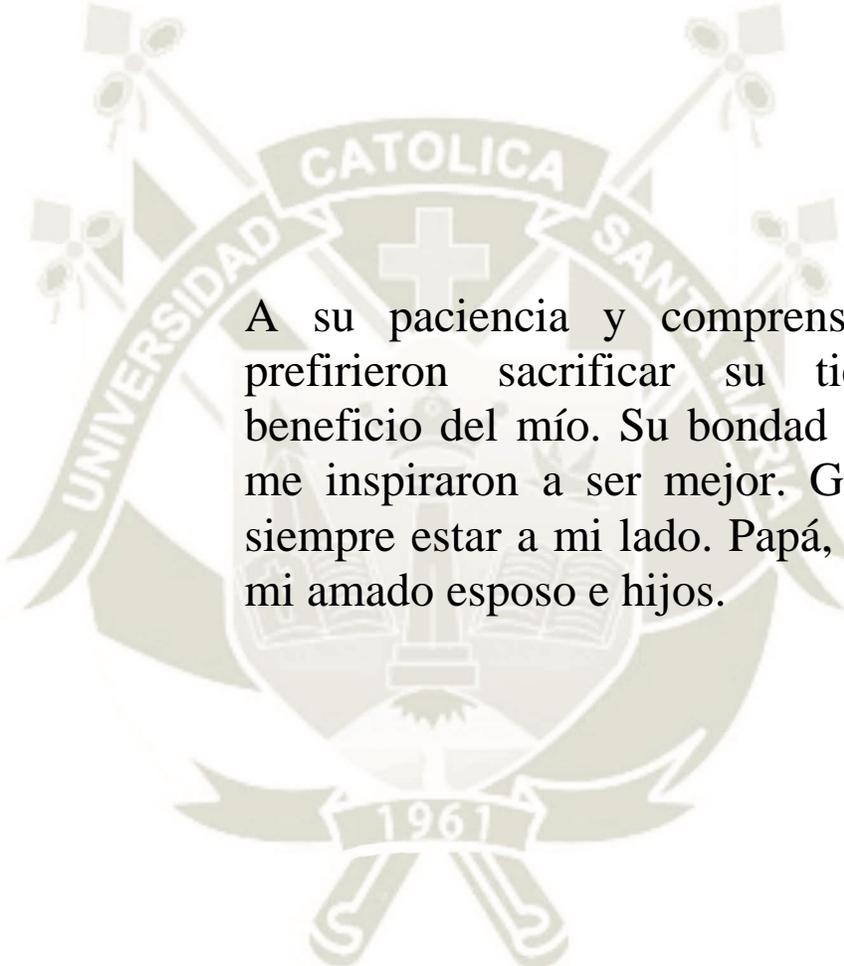


**RELACIÓN ENTRE EL FACTOR DE EMISIÓN DE  
METANO ENTÉRICO Y LA COMPOSICIÓN  
NUTRICIONAL DE LA RACIÓN EN VACAS LECHERAS DE  
LA IRRIGACIÓN MAJES - AREQUIPA.**

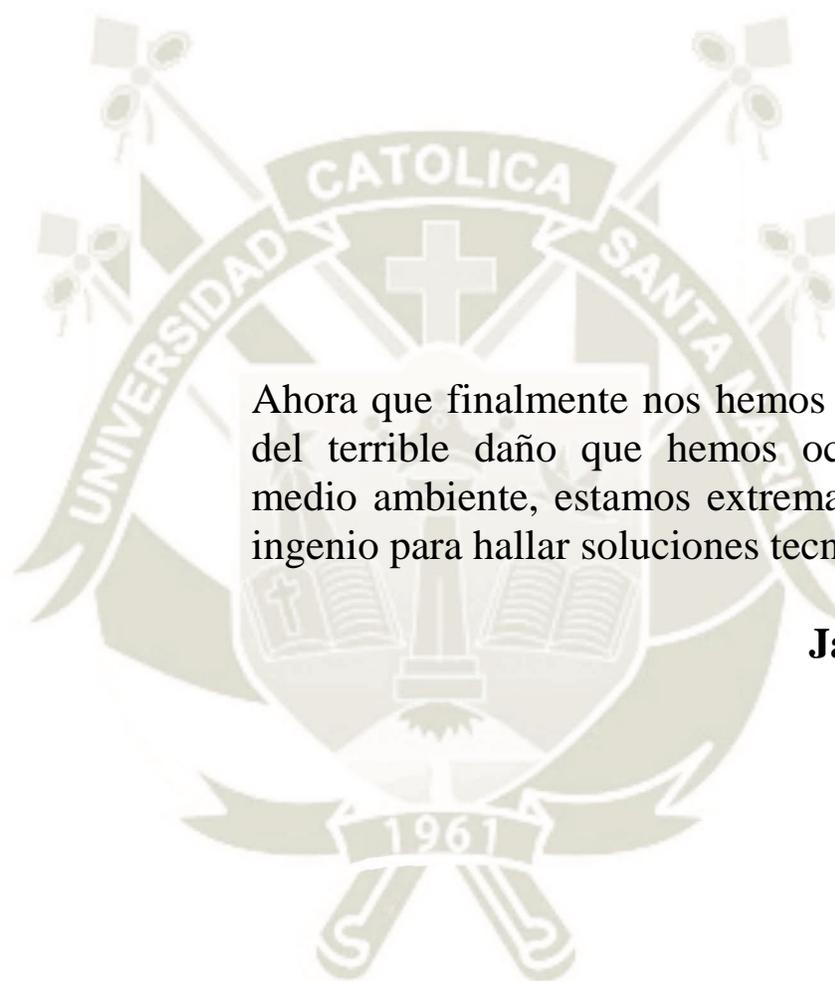
Tesis presentada por la Bachiller **Elena  
Alicia Luperdi Puente De La Vega,**  
Para optar el Grado Académico de  
Magíster en Producción y Salud Animal

**AREQUIPA – PERÚ**

**2015**



A su paciencia y comprensión, pues  
prefirieron sacrificar su tiempo en  
beneficio del mío. Su bondad y ejemplo  
me inspiraron a ser mejor. Gracias por  
siempre estar a mi lado. Papá, mamá y a  
mi amado esposo e hijos.



Ahora que finalmente nos hemos dado cuenta del terrible daño que hemos ocasionado al medio ambiente, estamos extremando nuestro ingenio para hallar soluciones tecnológicas.

**Jane Goodall**

## ÍNDICE GENERAL

Resumen .....	07
Abstract .....	09
Introducción .....	11
Capítulo Único: Resultados y discusión.....	13
Relación entre el factor de emisión de metano entérico y la composición nutricional de la ración en vacas lecheras de la irrigación Majes - Arequipa .....	13
Conclusiones .....	32
Recomendaciones .....	34
Propuesta .....	36
Bibliografía .....	43
Anexos .....	46
Anexo Nro. 01: proyecto de tesis .....	47
Anexo Nro.02 del proyecto: ecuaciones y constantes referenciados por el IPPC.....	96
Anexo Nro. 03 de la tesis: matrices de sistematización .....	107
Anexo Nro. 04: secuencia fotográfica .....	110

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico N° 1</b>	
Línea de regresión entre proteína cruda y metano - Sistema Intensivo.....	13
<b>Gráfico N° 2</b>	
Línea de tendencia entre proteína cruda y metano - Sistema Extensivo.....	14
<b>Gráfico N° 3</b>	
Línea de regresión entre proteína bye pass y metano - Sistema Intensivo.....	15
<b>Gráfico N° 4</b>	
Línea de regresión entre proteína bye pass y metano. Sistema extensivo.....	16
<b>Gráfico N° 5</b>	
Línea de regresión entre proteína digestible y metano - Sistema Intensivo.....	18
<b>Gráfico N° 6</b>	
Línea de regresión entre proteína digestible y metano - Sistema Extensivo.....	19
<b>Gráfico N° 7</b>	
Línea de regresión entre ENI y metano - Sistema Intensivo.....	20
<b>Gráfico N° 8</b>	
Línea de regresión entre ENI y metano - Sistema Intensivo.....	21
<b>Gráfico N° 9</b>	
Línea de regresión entre FC y metano - Sistema Intensivo.....	22
<b>Gráfico N° 10</b>	
Línea de regresión entre FC y metano - Sistema Extensivo.....	23
<b>Gráfico N° 11</b>	
Línea de regresión entre FDN y metano - Sistema Intensivo.....	24
<b>Gráfico N° 12</b>	
Línea de regresión entre FDN y metano - Sistema Extensivo.....	25
<b>Gráfico N° 13</b>	
Línea de regresión entre FDA y metano - Sistema Intensivo.....	27

**Gráfico N° 14**

Línea de regresión entre FDA y metano - Sistema Extensivo.....28

**Gráfico N° 15**

Línea de regresión entre Digestibilidad y metano.....29

**Gráfico N° 16**

Línea de regresión entre Digestibilidad y metano - Sistema Extensivo.....30



## RESUMEN

Se realizó un estudio de investigación con el objeto de relacionar la emisión de metano entérico con la composición nutricional de la ración de vacunos lecheros bajo el sistema intensivo y extensivo en la irrigación Majes – Arequipa. Esta información permitió determinar el consumo de cada componente de la ración (Pastoreo de Alfalfa, Consumo Ensilado y Concentrado). Los nutrientes y parámetros relacionados conjuntamente con el metano fue Proteína cruda, Proteína sobrepasante, Proteína degradable, Energía neta de lactancia (ENL), Fibra cruda, Fibra detergente neutro, Fibra detergente ácido y Porcentaje de digestibilidad de la ración. Para la estimación de metano entérico se utilizó el modelo propuesto por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC, 2006). Para seleccionar las unidades de estudios, se tomó en cuenta cada hato (10 hatos en cada sistema de alimentación), en base al enunciado de Calzada (1970). Los criterios de exclusión - inclusión para cada hato se realizaron en base a la caracterización de su sistema de alimentación. Para determinar la relación entre la emisión de metano entérico y los nutrientes y parámetros nutricionales, se aplicó una prueba de regresión, que permitió visualizar la ecuación, la línea de tendencia y el valor  $R^2$ . Luego del análisis de los datos se encontró los siguientes resultados:

Respecto a la relación entre proteína cruda y metano la ecuación de regresión fue de  $0.0672x + 20.029$  y un valor de  $R^2 = 0.0472$  para el sistema intensivo esta fue  $y = 0.1059x + 11.228$  con un valor de  $R^2 = 0.0683$ , para el extensivo, respectivamente. Generalizándose que a mayor cantidad de proteína cruda (nitrógeno fermentable), se produciría una menor emisión de metano.

Con relación a la ecuación de regresión entre proteína by pass y metano, esta fue de  $y = 0.0046x + 6.2109$  y un  $R^2 = 0.0014$ , para el sistema extensivo la ecuación fue  $y = 0.0573x + 3.5268$  y un valor de  $R^2 = 0.0879$ , aparentemente no se presentaría una relación entre ambas variables para el sistema intensivo, en el extensivo se presentó una relación directa. La ecuación hallada para la proteína digestible y metano, ésta fue  $y = -0.0596x + 13.128$  y un  $R^2 = 0.0574$ , para el sistema intensivo la ecuación fue  $y = 0.0485x + 7.696$  y un  $R^2 = 0.0516$ , para el sistema extensivo. En el sistema intensivo se halló tendencia a una relación inversa, en contraste al extensivo donde ésta tendencia fue directa, debido probablemente a

que se requiera una alta fermentación en los primeros dos compartimentos y se produzca mayor cantidad de metano.

La ecuación para el caso de la Energía neta de lactancia y metano, esta correspondió a  $y = 0.0009x + 1.5921$  con un  $R^2 = 0.0066$  para el sistema intensivo, en el extensivo ésta fue  $y = -0.0015x + 1.525$  con un  $R^2 = 0.0159$  para el extensivo, respectivamente. Se halló relación directa para el sistema intensivo, Lo que indicaría que a mayor producción de leche se produciría en proporción, una mayor emisión de metano, para el sistema extensivo se presentó una relación inversa.

La relación entre fibra cruda y metano fue descrita con la ecuación  $y = -0.1153x + 24.074$  y un  $R^2 = 0.0731$ , para el caso intensivo y para el extensivo de  $y = -0.1607x + 30.222$  con un  $R^2 = 0.1402$  para ambos sistemas la relación observada fue inversa, donde existe la probabilidad de que a menor cantidad de fibra cruda se incrementa la emisión de metano. Respecto a la relación entre Fibra detergente neutro y metano, la ecuación que describió esta relación fue de  $y = 0.006x + 34.629$  y  $R^2 = 0.0001$ , para el sistema intensivo y para el extensivo fue de  $y = -0.2118x + 51.715$  y  $R^2 = 0.1748$ . No se halló relación para ambas variables en el sistema intensivo, para el extensivo se encontró relación inversa, donde a menor cantidad de FDN se incrementa la emisión de metano.

La relación entre fibra detergente ácido y metano fue descrita mediante la siguiente ecuación  $y = -0.0385x + 21.357$  y un  $R^2 = 0.0108$ , para el sistema intensivo y de  $y = -0.017x + 27.397$  con un  $R^2 = 0.0025$  para el extensivo. En este caso no se encontró relación alguna para ambos sistemas.

Con relación a la ecuación para determinar la relación entre digestibilidad y metano, esta fue de  $y = 0.0396x + 70.112$  y con un  $R^2 = 0.0065$  y para el sistema extensivo de  $y = -0.0403x + 66.225$  y un  $R^2 = 0.0087$  para el sistema intensivo se halló relación directa, en el caso del sistema extensivo se encontró relación inversa, siendo probable que este parámetro sea un mejor estimador en el sistema extensivo que en el intensivo, al usar el modelo de estimación proveído por el IPCC (2006).

Finalmente se concluye que la relación entre el factor de emisión entérico y la composición nutricional de la ración en vacas lecheras de la irrigación Majes - Arequipa en los dos sistemas evaluados es pobre, originado probablemente a que la emisión de metano involucra una compleja interacción de condiciones y factores.

## ABSTRACT

A research study was conducted in order to relate the enteric methane emission with the nutritional composition of the ration of dairy cattle under intensive and extensive irrigation system in the Majes - Arequipa. This information allowed us to determine the consumption of each component of the diet (grazing Alfalfa, Silage and concentrate consumption). Nutrients and related parameters together with methane was Crude protein, bypass protein, degradable protein, net energy for lactation (NEL), crude fiber, neutral detergent fiber, acid detergent fiber digestibility and percentage of the ration. Proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) model was used for estimating enteric methane. To select the units of study, it took into account each herd (10 herds in each power system), based on the statement of Calzada (1970). Exclusion criteria - including for each herd were made based on the characterization of the power system. To determine the relationship between enteric methane emission and nutrients and nutritional parameters, a regression test, which allowed display the equation, the trend line and  $R^2$  value was applied.

After analyzing the data the following results regarding the relationship between crude protein and methane was found the regression equation was  $0.0672x + 20,029$  and a value of  $R^2 = 0.0472$  for intensive system this was  $y = 0.1059x + 11.228$  and  $R^2 = 0.0683$ , for extensive, respectively. Generalizing that to greater amount of crude protein (fermentable nitrogen), lower methane emissions occur.

Relative to the regression equation by pass between protein and methane, this was  $y = 0.0046x + 6.2109$  and  $R^2 = 0.0014$ , for extensive system equation was  $y = 0.0573x + 3.5268$  and a value of  $R^2 = 0.0879$ , apparently no relationship between two variables for intensive system, showed extensive direct relationship be submitted.

The equation found for digestible protein and methane, this was  $y = 13.128 + -0.0596x$  and  $R^2 = 0.0574$ , for intensive system equation was  $y = 0.0485x + 7.696$  and  $R^2 = 0.0516$ , for extensive system. In the intensive system tendency to an inverse relationship it was found, in contrast to this trend was extensive where direct, probably because a high fermentation required in the first two compartments and more methane occurs.

The equation for the case of net energy for lactation and methane, this corresponded to  $y = 0.0009x + 1.5921$  and  $R^2 = 0.0066$  for intensive system, extensive was-  $y = -0.0015x + 1.525$  and  $R^2 = 0.0159$  for extensive, respectively. Directly related to the intensive system was found, suggesting that increased milk production would occur proportionally greater methane emissions, for extensive system it showed an inverse relationship.

The relationship between methane and crude fiber was described by the equation  $y = -0.1153x + 24,074$  and  $R^2 = 0.0731$ , for intensive and extensive case of  $y = -0.1607x + 30,222$  with  $R^2 = 0.1402$ . for both systems was observed inverse relationship, where there is the likelihood that a smaller amount of crude fiber methane emission increases. Regarding the relationship between fiber neutral detergent methane, equation which describes this relationship was  $y = 0.006x + 34.629$  y  $R^2 = 0.0001$  and for the intensive and extensive system was  $y = -0.2118x + 51,715$  and  $R^2 = 0.1748$ . A clear relationship for both variables in the intensive system for extensive inverse relationship, where fewer NDF methane emission increases were found.

The relationship between methane and acid detergent fiber was described by the equation  $y = -0.0385x + 21,357$  and  $R^2 = 0.0108$ , for intensive and  $y = -0.017x + 27\ 397$  system with  $R^2 = 0.0025$  for extensive. In this case, no relationship was found for both systems.

In relation to the equation to determine the relationship between digestibility and methane, this was  $y = 0.0396x + 70,112$  and a  $R^2 = 0.0065$  and for extensive system  $y = -0.0403x + 66,225$  and  $R^2 = 0.0087$  for the system Intensive direct relationship was found, in the case of extensive system inverse relationship was found, this parameter is likely that a better estimate on the extensive system in the intensive, using the estimation model provided by the IPCC (2006).

Finally it is concluded that the relationship between the factor enteric emission and nutrient composition of the ration in dairy cows Majes irrigation - Arequipa in both systems evaluated is poor, probably originated the emission of methane it involves a complex interplay of conditions and factors.

## INTRODUCCIÓN

Según el conocimiento actual la ganadería a la fecha, es un sector que contribuye significativamente con las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) generando gases como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (IPCC, 2007). Este sector productivo es un enorme contribuyente al cambio climático (CC) de manera directa e indirecta, al generar emisiones durante diferentes etapas de su proceso productivo ya sea a nivel de establo como fuera de esta (Murgueitio *et al*, 2011; Hristov *et al* 2013). Con emisiones anuales estimadas en 7.1 gigatoneladas (GT) de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{-eq}$ ), que representan el 14.5% de las de los GEI de origen antropogénico, la ganadería contribuye de manera importante al CC, siendo la producción de carne y leche vacuna responsables del 41% y el 29% de las emisiones totales del sector, respectivamente (Gerber *et al* 2013). Debido a esto, se ha buscado implementar sistemas productivos de menor impacto ambiental y/o de mayor productividad para suplir las demandas de los mercados. Sin embargo, para la gran mayoría de los sistemas, se carece de evaluaciones y argumentos firmes que avalen su potencial de mitigación (Murgueitio *et al.*, 2011; Molina, 2013). Actualmente existe consenso en que el paso inicial para determinar las potencialidades de mitigación de sistemas de producción, es evaluarlos bajo diversos escenarios para disminuir la incertidumbre actualmente existente frente a las emisiones de GEI de origen animal (de Klein *et al.*, 2008; Hristov *et al.*, 2013). Bajo tal panorama, en el Perú, los estudios que determinen la emisión o la estimación de los mismos son muy escasos o se hallan en estados iniciales; bajo tales consideraciones, el objetivo de la presente investigación fue relacionar el factor de emisión del  $\text{CH}_4$  entérico con la composición nutricional de la ración en vacunos lecheros bajo el sistema intensivo y extensivo en la irrigación Majes – Arequipa, utilizando para ello la metodología del IPCC (2006), la cual representa a la fecha el principal procedimiento de estimación de GEI.

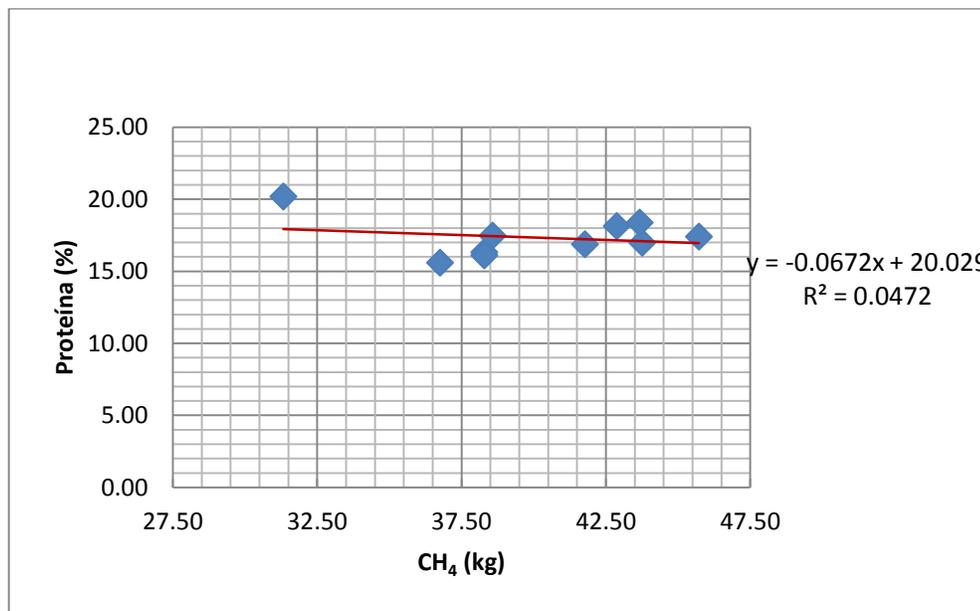


**CAPITULO ÚNICO:  
RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

1. Relación entre el factor de emisión de metano entérico y nutrientes como fuente de proteína cruda, Proteína sobrepasante y Proteína degradable.

**Gráfico N° 1**

Línea de regresión entre proteína cruda y metano - Sistema Intensivo



El Gráfico N° 1 representa la línea de tendencia luego de someter a una prueba de regresión ambas variables (proteína cruda y metano) en el sistema intensivo; asimismo, dicha línea de tendencia sigue una relación inversa entre las variables evaluadas. De otro lado, el valor  $R^2$  indica una pobre asociación entre las variables estudiadas.

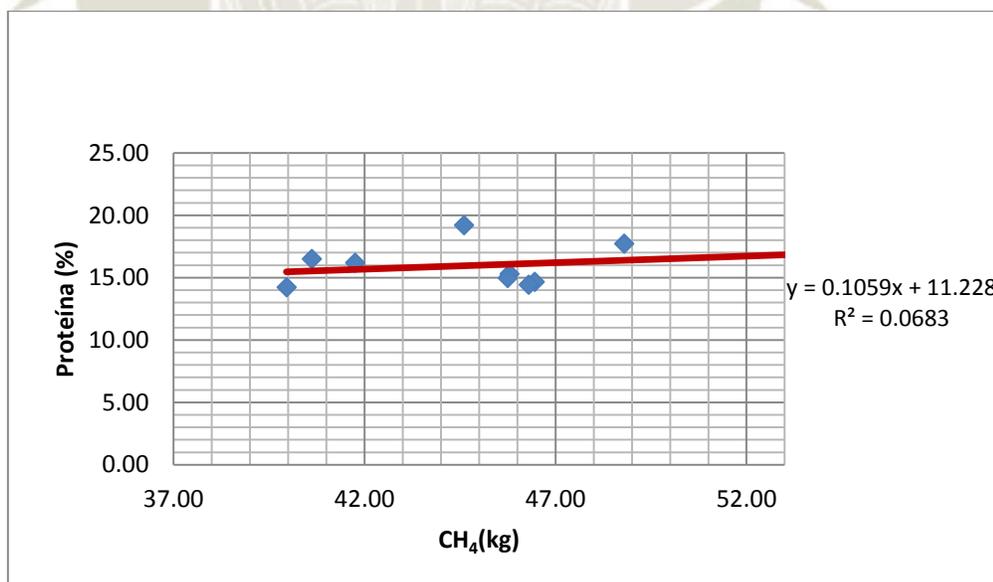
De acuerdo a estos resultados, podría generalizarse que a mayor cantidad de proteína cruda (nitrógeno fermentable), se produciría una menor emisión de metano. Al respecto, numerosos estudios señalan que las estrategias de alimentación que aportan nitrógeno fermentable, además de mejorar el desempeño productivo de los animales, contribuyen a reducir la producción de metano por unidad de carne o de leche producida en condiciones tropicales (Monsalve, 2003). Leng (1997) también encontró que en condiciones, de escasa productividad de los animales como resultado de baja digestibilidad y deficiencia

de nutrientes esenciales -por ejemplo proteína cruda- en los forrajes, es posible mejorar las condiciones, modificando la fermentación ruminal a través del manejo de la dieta (uso de leguminosas), o afectando de manera selectiva las poblaciones microbiales del rumen, lo cual además de mejorar, la conversión alimenticia y la productividad animal, disminuye la emisión de metano y de otras pérdidas energéticas.

Una mayor concentración de proteína cruda ha sido asociada con la disminución en las emisiones de metano. En ensayos *in vitro* donde se comparó ryegrass perenne con 75% más proteína cruda se reportó 14% menos metano por unidad de materia orgánica degradada (Lovett *et al.*, 2004). Resultados similares fueron reportados por Navarro-Villa *et al.* (2011) quienes observaron una disminución de 7% en la emisión de metano por unidad de materia seca (MS) incubada en ryegrass perenne con 3% más de proteína cruda.

**Gráfico N° 2**

Línea de tendencia entre proteína cruda y metano - Sistema Extensivo

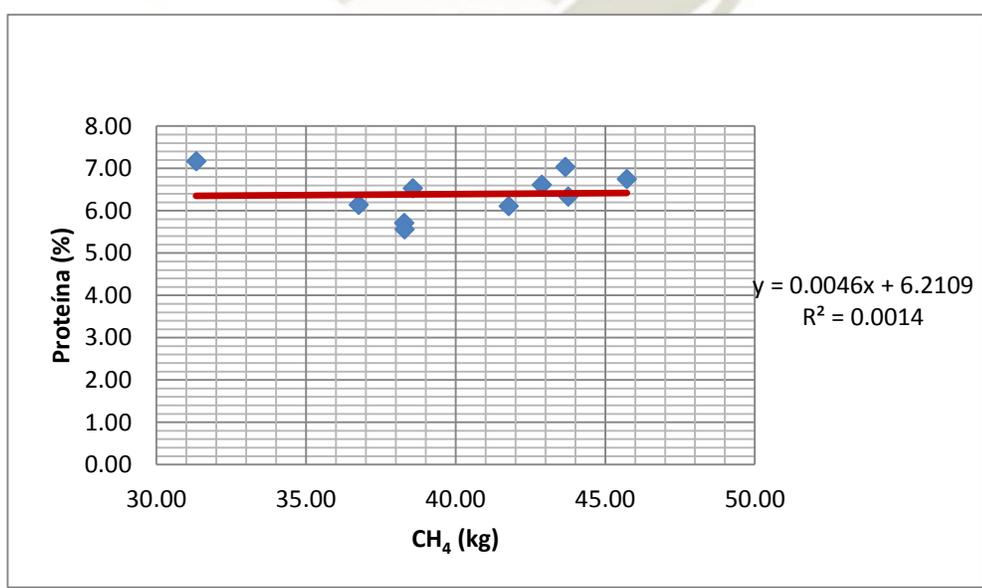


El Gráfico N° 2 indica la línea de tendencia para el sistema extensivo, luego de someter a un prueba de regresión ambas variables (proteína cruda y metano); en el gráfico se aprecia una relación directa entre las variables evaluadas. asimismo,

el valor  $R^2$  también indica una pobre asociación entre las variables estudiadas; sin embargo, este valor fue superior al hallado en el caso del sistema intensivo. De acuerdo a estos resultados se podría deducir que en el caso de este sistema, la calidad de la proteína cruda no es la más adecuada para disminuir la emisión de metano, en contraste al sistema intensivo, donde la proteína proveniente del concentrado habría sido más efectiva en disminuir la emisión de este gas. A la fecha existe poca información relacionada con emisiones de metano asociadas a forrajes en zona templada. Bajo tales consideraciones, la calidad proteica de los forrajes ofrecidos a los animales bajo condiciones de la zona de estudio, no habría tenido efecto biológico en reducir la liberación de metano. Asimismo, podría sugerirse que si se utilizará variedades forrajeras bajas en fibra y ricas en azúcares y proteína cruda ésta podría ser una opción viable para reducir las emisiones de metano por unidad de producto (carne o leche) al aumentar la productividad animal. En este sentido Ellis *et al.* (2012) sugirieron que la alimentación de forrajes con mayor concentración de azúcares o proteína disminuye hasta en un 13% la producción de metano por unidad de producto.

**Gráfico N° 3**

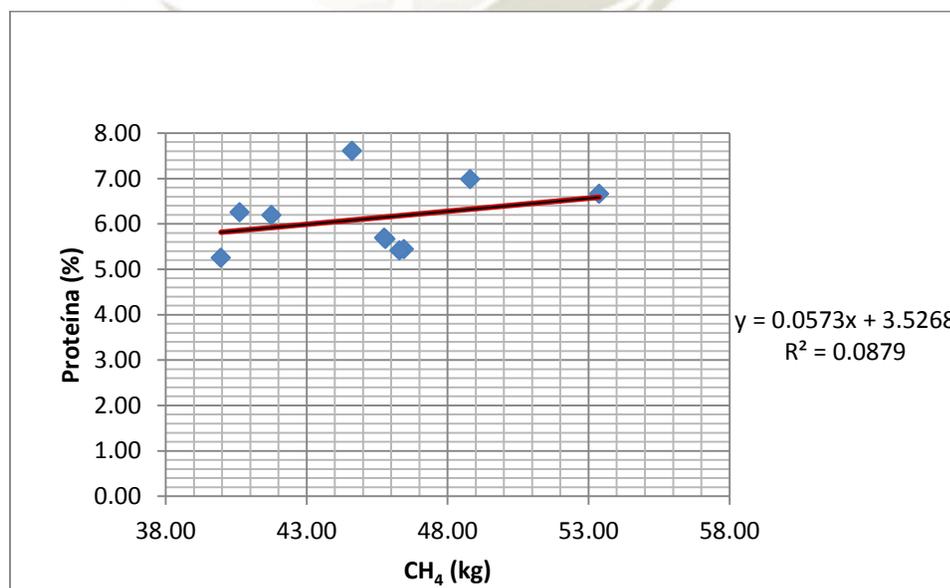
Línea de regresión entre proteína bye pass y metano - Sistema Intensivo



En este gráfico N° 3, se representa la línea de tendencia, luego de someter a una prueba de regresión ambas variables (proteína by pass y metano) para el sistema intensivo, en el gráfico no se aprecia una relación entre las variables evaluadas. El valor  $R^2$  también indica una muy pobre asociación entre las variables estudiadas. De acuerdo a la línea de tendencia en el plano X Y, podemos generalizar que aparentemente no se presentaría una relación entre ambas variables en estudio, o los valores de la proteína by pass no habrían influenciado a los de metano. La literatura respecto a la relación de ambas variables es casi ausente. Es probable que la compleja interacción entre los nutrientes ingeridos y la acción de los microorganismos ruminales sumado a las limitaciones de la estimación, no haya hallado relación alguna. De otro lado, debería de esperarse que la calidad del alimento hubiera disminuido las emisiones de metano, de acuerdo a lo mencionado con Leng (1997), quien manifiesta que la digestibilidad y la calidad de nutrientes serían efectivos en disminuir la emisión del metano. De otro lado, debe indicarse que la casi ausencia de relación entre las variables, obedecería a que este indicador nutricional no está considerado en el modelo propuesto por IPCC (2006).

#### Gráfico N° 4

Línea de regresión entre proteína by pass y metano. Sistema extensivo



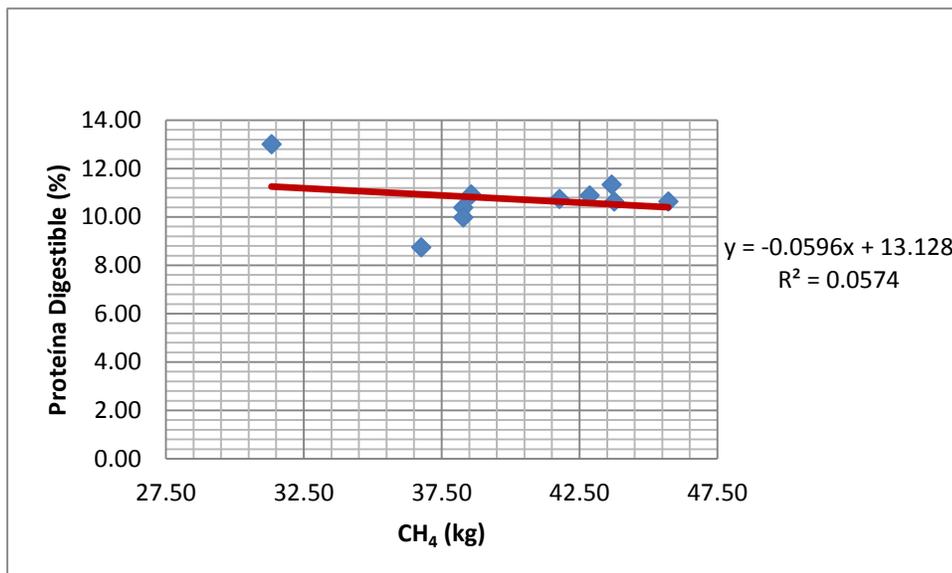
El Gráfico N° 4 se muestra la línea de tendencia para el sistema extensivo, luego de realizar una prueba de regresión ambas variables (proteína by pass y metano); en el gráfico se aprecia una relación directa entre las variables evaluadas. Observándose que el valor  $R^2$  indica una pobre asociación entre ambas variables.

De otro lado, podría mencionarse que la cantidad de proteína que alcanzaría el intestino delgado (by pass) se optimiza en este sistema, pese a que se sabe que la productividad es menor a la reportada en el sistema intensivo; asimismo, se debería nombrar que recientemente existe un renovado interés a nivel mundial respecto a la inclusión de pasturas frescas de alta calidad en la dieta de vacas lecheras, ya que esta práctica podría traer beneficios tanto para el productor como para el consumidor final. Comparados con los sistemas basados en la alimentación de vacas con raciones totales mezcladas (RTM), los sistemas de base pastoril ofrecen una imagen más «amigable» con el ambiente, ya que podrían minimizar la polución y tener menos efectos negativos sobre la calidad del suelo (Hanson *et al.*, 1998). Por otra parte, el concepto generalizado de que los animales en pastoreo son los que más contribuyen a la generación de metano, hoy se pone en discusión. Recientemente, O'Neill *et al.* (2011) compararon la producción y el metano generado por vacas consumiendo sólo pastura de alta calidad (raigrás) o sólo RTM, y reportaron que las primeras produjeron menos metano por vaca, por unidad de alimento ingerido y por unidad de sólidos producidos, aun cuando produjeron menos leche; estos cambios probablemente estén relacionados con la función ruminal y la tasa de pasaje.

Por otra parte, se ha propuesto que los sistemas pastoriles pueden tener beneficios sobre la salud de los animales y por tanto promoverían un mayor bienestar de los mismos (Rushen *et al.*, 2008). Bajo esta apreciación y como aporte de este estudio debería de revisarse las constantes (que son valores continuos y muy generales) que se utilizan para modelar la emisión de metano publicadas por el IPCC (2006).

**Gráfico N° 5**

Línea de regresión entre proteína digestible y metano - Sistema Intensivo



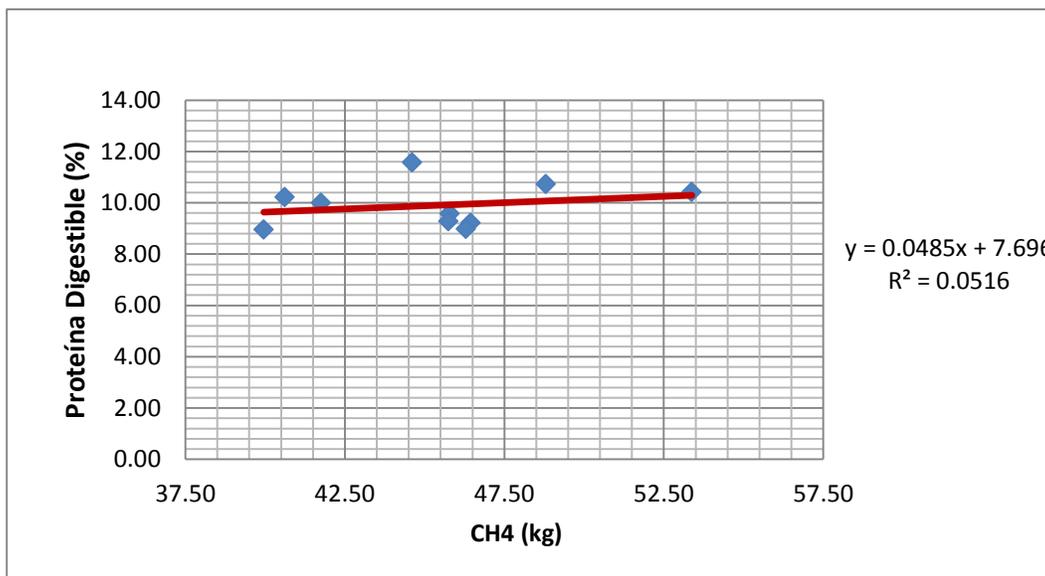
El Gráfico N° 5 se representa la línea de tendencia, luego de realizar una prueba de regresión para ambas variables (proteína digestible y metano) en el sistema intensivo; el gráfico muestra una relación inversa entre las variables evaluadas. También se puede mencionar que el valor  $R^2$  indica una pobre asociación entre las variables en estudio.

Considerando que el score de una proteína refleja su contenido en aminoácidos (AA) en comparación con la proteína ideal. Sin embargo, cuando se necesita conocer la utilización de los AA en el organismo es necesario realizar la corrección del valor de score según la digestibilidad de la proteína. La calidad o valor biológico de la proteína indica la cantidad de AA que intervienen en su composición, en el caso de la proteína digestible en rumiantes, debe de considerarse la proteína microbiana y aquella que escapo o sobrepaso el rumen – retículo al ataque microbiano en estos compartimentos. De acuerdo a los resultados de nuestra investigación se puede deducir que a mayor digestibilidad de la proteína, se emitirá menor cantidad de metano en el sistema intensivo. Es probable que la calidad de la proteína que se ingiere con los alimentos y aquella de origen microbiano, esté relacionada a la emisión de metano en sistemas intensivos de producción de leche.

Otros autores han relacionado la calidad de la proteína de los nutrientes con la emisión de metano (Leng, 2007).

**Gráfico N° 6**

Línea de regresión entre proteína digestible y metano - Sistema Extensivo

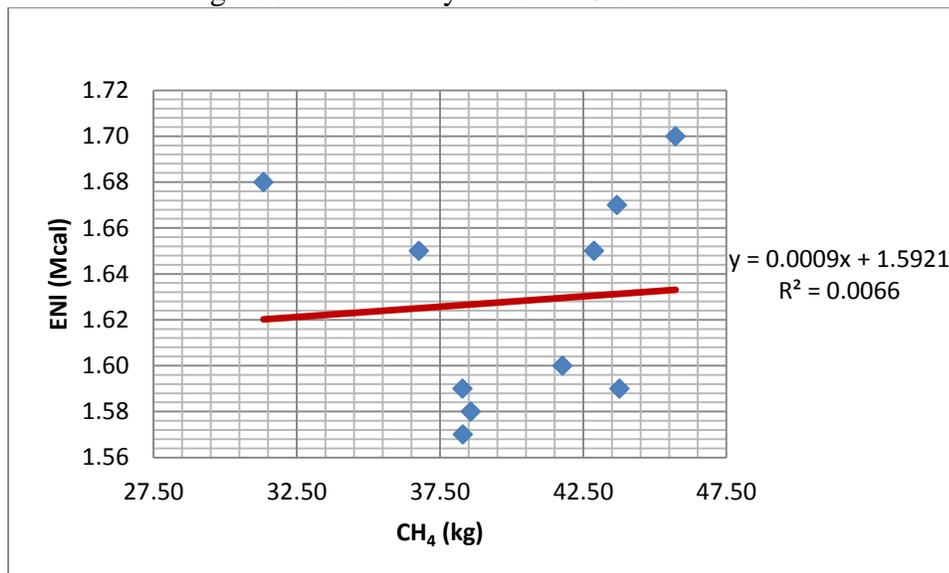


El Gráfico N° 6 indica la línea de tendencia al realizar una prueba de regresión para ambas variables (proteína digestible y metano) en el sistema extensivo; asimismo el gráfico muestra una relación directa entre las variables evaluadas. Asimismo, se encontró un valor  $R^2$  que indica una pobre asociación entre las variables.

Para el caso particular de este tipo de proteína, la relación observada con el metano, indica una relación de tipo directa, lo que representaría que en un mayor consumo de proteína digestible se produciría también mayor emisión de metano. Sin embargo, para producir una adecuada cantidad de esta tipo de proteína y sea absorbida en el intestino, es probable que se requiera una alta fermentación en los primeros dos compartimentos como son el rumen –retículo (Jhonson y Jhonson, 1995), y que en este proceso se produzca una mayor cantidad de metano.

2. Relación entre el factor de emisión de metano entérico y la Energía neta de lactancia (ENI)

**Gráfico N° 7**  
Línea de regresión entre ENI y metano - Sistema Intensivo

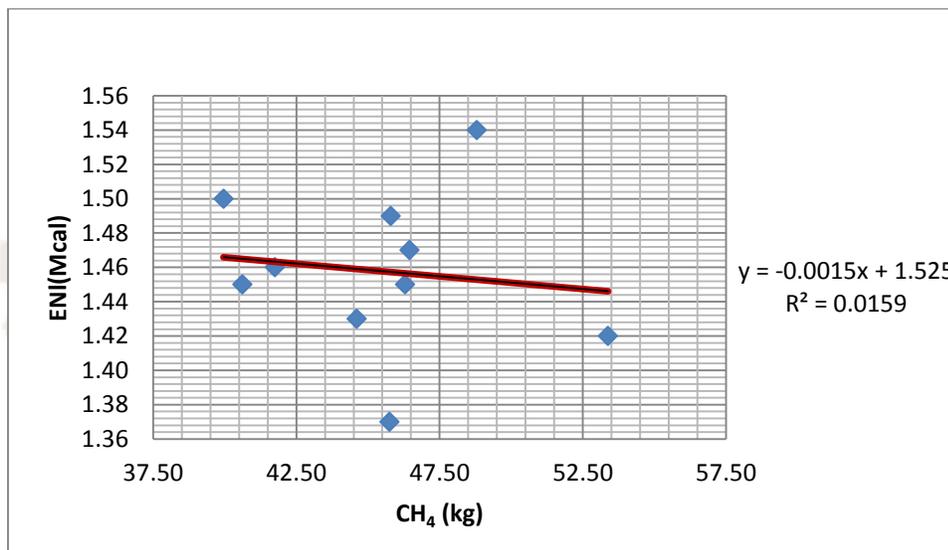


El Gráfico N° 7 muestra la línea de tendencia de la prueba de regresión ambas variables (Energía neta de lactancia y metano) para el sistema intensivo; podemos observar que la línea de tendencia sigue una relación directa entre las variables evaluadas. Observándose que el valor  $R^2$  indica una muy pobre asociación para las variables estudiadas. Asimismo, la relación directa entre ambas variables, indica que a una mayor energía neta de lactancia en los alimentos se produciría incrementos en la emisión de metano.

Respecto a estos resultados, Moss *et al.* (2000), señalan que los modelos basados en el balance químico de la fermentación han sido utilizados en la predicción de la producción de metano y que existe una correlación negativa alta entre la proporción molar de propionato y la producción de metano por unidad de sustrato fermentado. Según este razonamiento la energía que se requiere para la producción de leche tiene como fuente principal la producción de ácido grasos volátiles y en particular

propionato. Lo que indicaría que una mayor producción de leche se produciría en proporción, una mayor emisión de metano.

**Gráfico N° 8**  
Línea de regresión entre ENL y metano - Sistema Extensivo

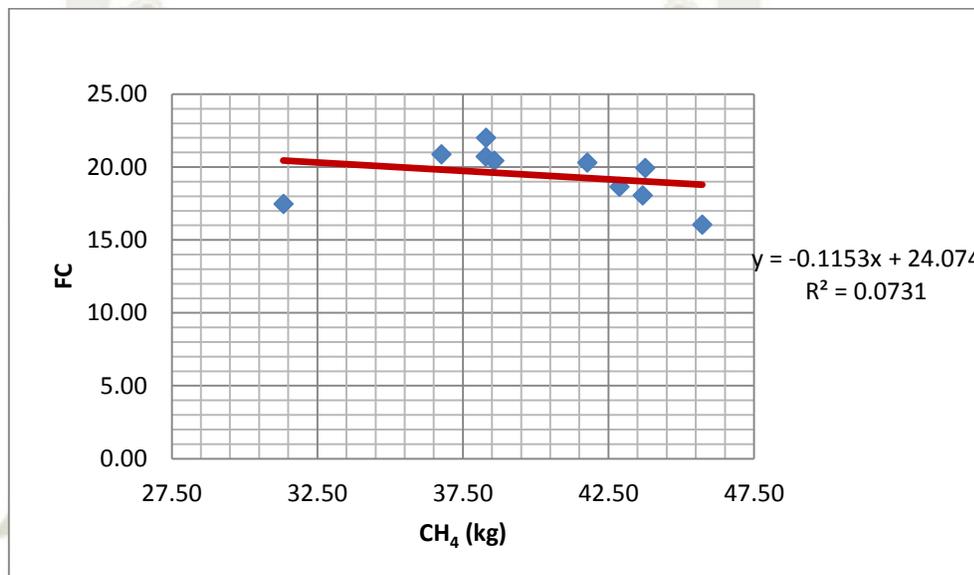


El Gráfico N° 8 muestra la línea de tendencia de la prueba de regresión ambas variables (Energía neta de lactancia y metano) para el sistema extensivo; podemos observar que la línea de tendencia sigue una relación inversa entre las variables evaluadas. De otro lado, el valor  $R^2$  indica una muy pobre asociación para las variables estudiadas.

Este comportamiento indicaría que a una menor disponibilidad de energía neta de lactancia desde los alimentos, se produciría mayor emisión de metano; en contraste a lo observado en el sistema intensivo donde la energía neta de lactancia fue mayor, originado por la mayor calidad de nutrientes, así como de su digestibilidad. Refrendando estos hallazgos, Lila *et al.* (2003), indican que la producción de metano presenta una correlación negativa con la disponibilidad de energía proveniente de los alimentos, por lo tanto, una reducción en la producción de metano desde los alimentos y de la canalización de hidrógeno hacia los ácidos grasos de cadena corta y masa microbial, es deseable siempre y cuando éstos no afecten la productividad animal.

3. Relación entre el factor de emisión de metano entérico y el Fibra cruda, Fibra detergente neutro y Fibra detergente ácido

**Gráfico N° 9**  
Línea de regresión entre FC y metano - Sistema Intensivo

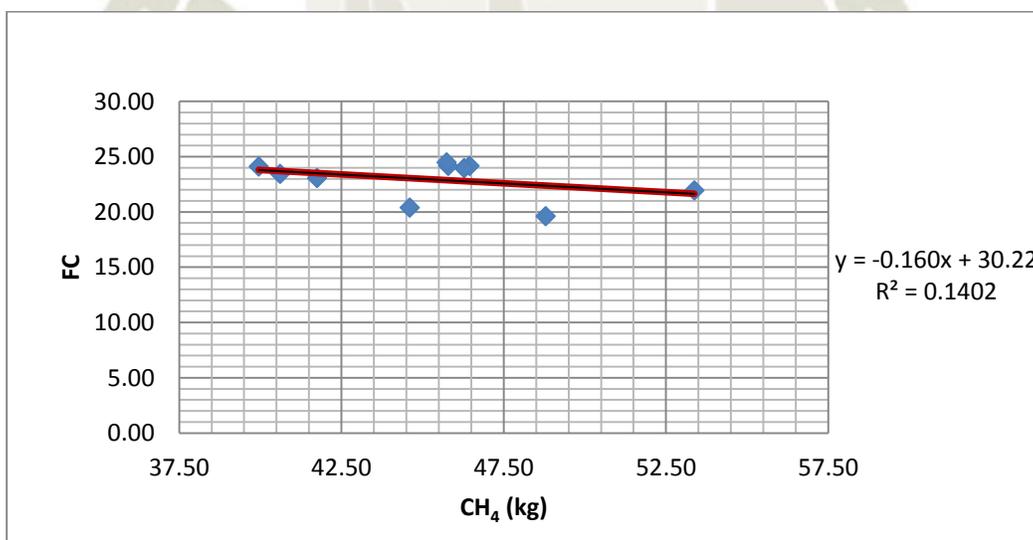


El Gráfico N° 9 muestra la línea de tendencia de la prueba de regresión ambas variables (fibra cruda y metano) para el sistema intensivo; podemos observar que la línea de tendencia sigue una relación inversa entre las variables evaluadas. De otro lado, el valor  $R^2$  indica una muy pobre asociación para las variables estudiadas.

Los animales durante la digestión producen metano de forma natural, principalmente debido a los microorganismos presentes en el aparato digestivo, que fermentan el alimento consumido. El sustrato para estos procesos fermentativos son fibra cruda que contiene cadenas carbonadas procedentes principalmente de la hidrólisis de los hidratos de carbono del alimento, tanto de los carbohidratos de reserva (almidón) como de los hidratos de carbono estructurales que forman parte de la pared celular de las plantas (fracción fibrosa) (López, 2009).

Primavesi *et al.* (2003) compararon las emisiones de metano provenientes de animales en pastoreo que recibieron suplementación de caña de azúcar con mayor y menor contenido de fibra en detergente neutro, reportando un 30% menos metano por unidad de peso vivo en aquellas dietas más ricas en carbohidratos no estructurales. Además estos autores sugirieron que cuando se incluye un alimento balanceado en un 40% de la dieta, con bajo contenido de fibra, produce menos metano por unidad de producto (carne o leche). De acuerdo a lo indicado por los autores precedentes la fibra presente en los alimentos regularía la producción de metano, de acuerdo a la cantidad de carbohidratos estructurales o de reserva. La proporción de estos tipos de carbohidratos, sobre todo los de reserva, serían mayores en el caso del sistema intensivo, donde la alta proporción de concentrados y menor cantidad de forrajes, condicionaría que a menor cantidad de fibra cruda, se incrementa la emisión de metano.

**Gráfico N° 10**  
Línea de regresión entre FC y metano - Sistema Extensivo

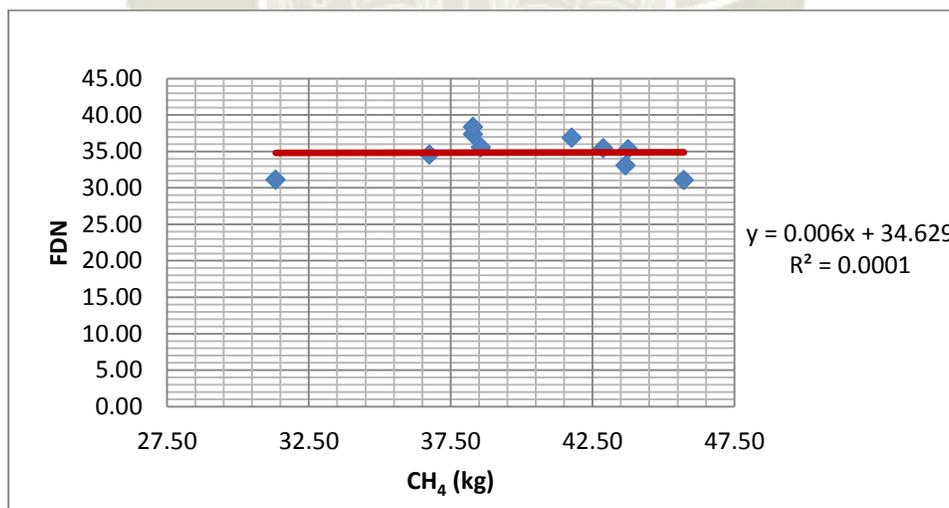


El Gráfico N° 10 muestra la línea de tendencia de la prueba de regresión de ambas variables (fibra cruda y metano) para el sistema extensivo; podemos observar que la línea de tendencia sigue una relación inversa entre las variables

evaluadas. De otro lado, el valor  $R^2$  indica una muy pobre asociación para las variables estudiadas.

El razonamiento para el caso del sistema extensivo, obedecería a que este sistema utiliza altas proporciones de forrajes y probablemente con moderadas cantidades de carbohidratos estructurales de la pastura y adecuada cantidad de carbohidratos de reserva proveniente del ensilado de maíz. Otros autores han mencionado que la generación de metano durante la fermentación entérica en rumiantes es influenciada por múltiples factores ambientales, alimenticios, nutricionales y otros inherentes al animal (Cardona *et al.*, 2005), por lo que las emisiones pueden variar considerablemente entre países, regiones e inclusive entre sistemas de producción, tal como se presentó en esta investigación. También debe mencionarse que la fibra cruda es un indicador muy general del consumo de fibra por un animal, el análisis más adecuado es el que representa la FDN y FDA, que se detalla a continuación.

**Gráfico N° 11**  
Línea de regresión entre FDN y metano - Sistema Intensivo



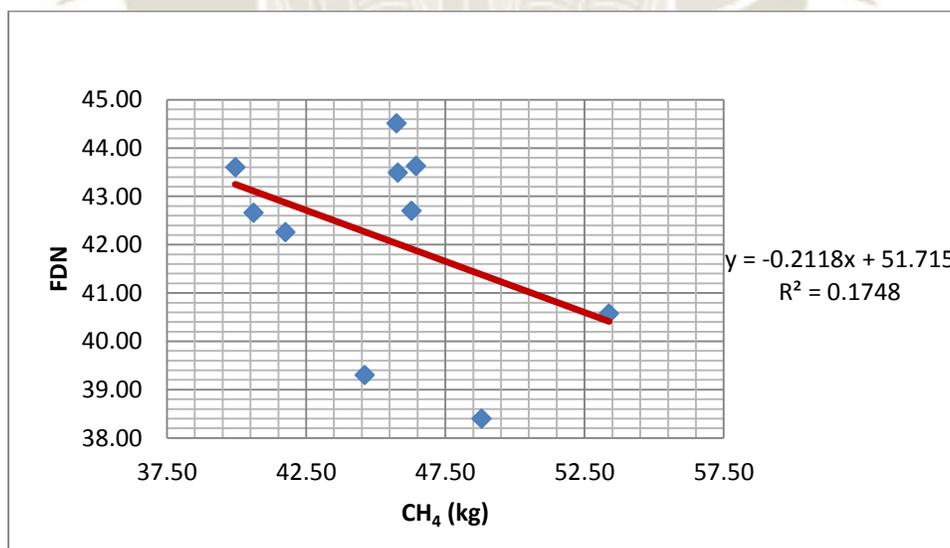
El Gráfico N° 11 muestra la línea de tendencia de la prueba de regresión ambas variables (Fibra detergente neutro y metano) para el sistema intensivo; podemos observar que la línea de tendencia no es muy clara entre las variables evaluadas.

Asimismo, el valor  $R^2$  indica una ausencia de la misma para las variables estudiadas.

Nuestros hallazgos no encontraron una clara relación entre las variables en estudio, siendo probable que el modelo que se utilizó para estimar la emisión, no considera este tipo de análisis, el cual es especializado. Bajo otras condiciones de determinación, las ecuaciones desarrolladas por Moe y Tyrrell (1979) evaluando 404 ensayos desarrollados con ganado de leche sugieren que dietas a base de carbohidratos estructurales producen mayores proporciones de metano por unidad degradada que aquellas donde prevalecen los carbohidratos no estructurales. En estudios *in vitro* la inclusión de leguminosas tropicales bajas en taninos condensados ha presentado un aumento en las emisiones de metano por unidad de materia orgánica fermentada asociado a una mayor degradabilidad de nutrientes (Hess *et al.*, 2003).

**Gráfico N° 12**

Línea de regresión entre FDN y metano - Sistema Extensivo



El Gráfico N° 12 muestra la línea de tendencia de la prueba de regresión ambas variables (Fibra detergente neutro y metano) para el sistema extensivo; podemos observar que la línea de tendencia sigue una relación inversa entre las variables

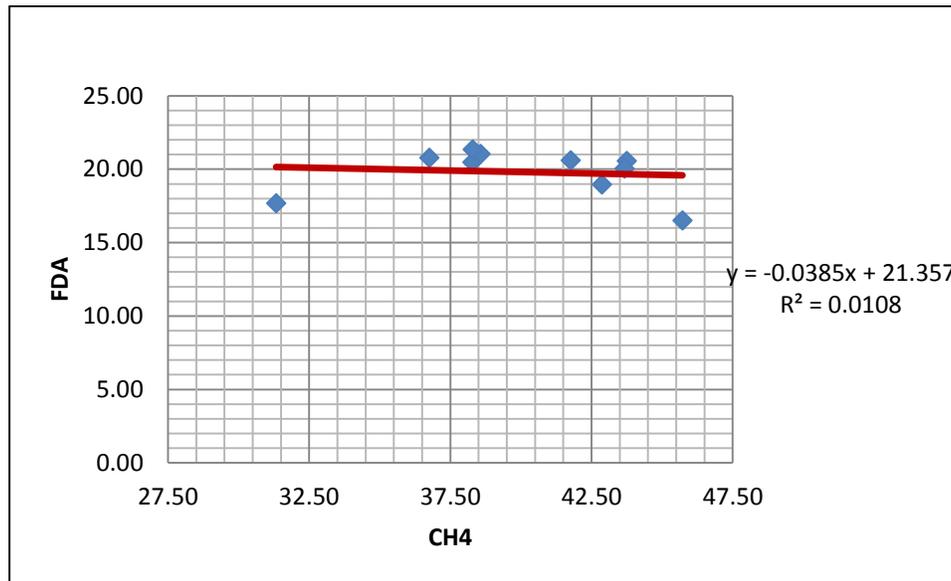
evaluadas. De otro lado, el valor  $R^2$  indica una pobre asociación para las variables estudiadas.

Hess *et al.* (2003), evaluaron la inclusión de una leguminosa baja en taninos (*Arachis pintoi*) en proporciones crecientes (33, 66 y 100%) en una dieta base de gramínea (*Brachiaria humidicola*) y encontraron una relación lineal creciente entre la inclusión de leguminosa y la producción de metano por unidad de FDN fermentada.

Igualmente Tiemann *et al.* (2008a) sugieren un aumento del 35% en la producción de metano por unidad de FDN fermentada cuando se incluye una leguminosa baja en taninos (*Vigna unguiculata*) en una dieta a base de gramínea (*Brachiaria humidicola*) en proporción 1: 2, comparando con la gramínea pura.

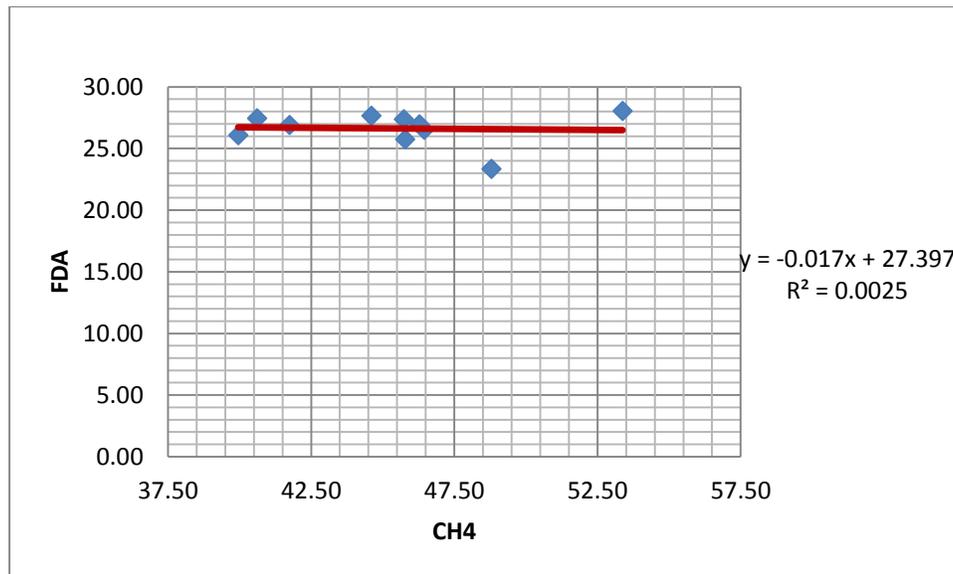
De acuerdo a los resultados arribados por la presente investigación, y las reportadas por investigadores precedentes, podemos generalizar que producción de metano tendría relación con el consumo de FDN, y como es de conocimiento este parámetro nutricional indica la proporción de carbohidratos estructurales que otros autores han encontrado, los estudios de Primavesi *et al.* (2003) indican que al comparar emisiones de metano provenientes de animales en pastoreo que recibieron suplementación de caña de azúcar con mayor y menor contenido de fibra en detergente neutro, reportando un 30% menos metano por unidad de peso vivo en aquellas dietas más ricas en carbohidratos no estructurales, resultados similares al encontrado en esta investigación.

**Gráfico N° 13**  
Línea de regresión entre FDA y metano - Sistema Intensivo



El Gráfico N° 13 muestra la línea de tendencia de la prueba de regresión ambas variables (fibra detergente ácido y metano) para el sistema intensivo; podemos observar que la línea de tendencia sigue una relación casi ausente entre las variables evaluadas. De otro lado, el valor  $R^2$  indica una muy pobre asociación para las variables estudiadas. Asimismo, la línea de tendencia muestra una casi ausencia de relación entre las variables debido probablemente a que el modelo que estima la emisión de metano, no considera el FDA en sus variables de evaluación (IPCC, 2006).

**Gráfico N° 14**  
Línea de regresión entre FDA y metano - Sistema Extensivo

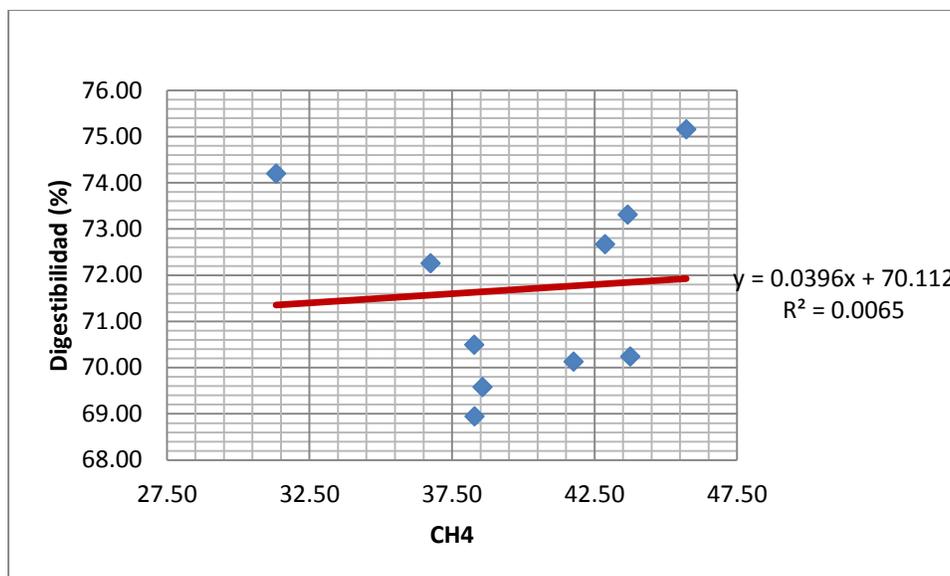


El Gráfico N° 14 muestra la línea de tendencia de la prueba de regresión ambas variables (fibra detergente ácido y metano) para el sistema intensivo; podemos observar que la línea de tendencia sigue una relación casi ausente entre las variables evaluadas. De otro lado, el valor  $R^2$  indica una muy pobre asociación para las variables estudiadas. Al igual que en el sistema intensivo, la ausencia de relación entre variables podría obedecer a que el modelo matemático aplicado para la estimación de metano, no considera este indicador nutricional en sus constantes (IPCC, 2006).

4. Relación entre el factor de emisión de metano entérico y la Digestibilidad

**Gráfico N° 15**

Línea de regresión entre Digestibilidad y metano - Sistema Intensivo

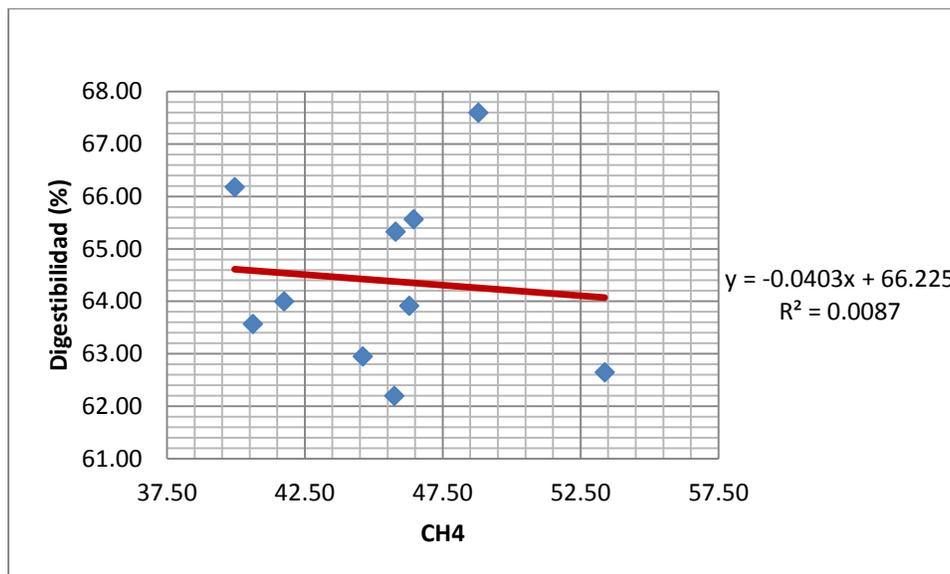


El Gráfico N° 15 muestra la línea de tendencia de la prueba de regresión ambas variables (digestibilidad y metano) para el sistema intensivo; podemos observar que la línea de tendencia sigue una relación directa entre las variables evaluadas. De otro lado, el valor  $R^2$  indica una pobre asociación para las variables estudiadas.

La manipulación de la composición de la dieta puede reducir directamente la emisión de metano por los rumiantes, por ejemplo, una dieta con alto contenido de concentrados tiende a reducir la población de protozoarios en el rumen, reduce el pH ruminal, altera la proporción de acetato: propionato y disminuye la cantidad de metano producido por unidad de alimento consumido (Blaxter y Clapperton 1965). Aparentemente, la digestibilidad del alimento en el sistema intensivo no indica relación directa con la emisión de metano, originado probablemente a que otros factores más complejos interactúan, tales como las distintas calidades y cantidades de alimentos.

**Gráfico N° 16**

Línea de regresión entre Digestibilidad y metano - Sistema Extensivo



El Gráfico N° 16 muestra la línea de tendencia de la prueba de regresión ambas variables (digestibilidad y metano) para el sistema intensivo; podemos observar que la línea de tendencia sigue una relación inversa entre las variables evaluadas. De otro lado, el valor  $R^2$  indica una pobre asociación para las variables estudiadas.

La literatura reporta que el consumo de materia seca (MS) es el principal factor que influye sobre la producción de metano entérico (Buddle *et al.*, 2011). Las primeras investigaciones que evaluaron el efecto del consumo sobre la producción de metano encontraron una estrecha relación con la cantidad de alimento y la digestibilidad de la dieta, presentándose una mayor producción de metano en dietas de baja digestibilidad a un nivel de consumo de mantenimiento, por el contrario dietas con alta digestibilidad y un consumo tres veces mayor al de mantenimiento disminuyó la producción de metano (30%) (Blaxter y Clapperton, 1965). El aumento en el consumo de MS se relaciona con una mayor tasa de paso y la disminución en la degradabilidad de la dieta, lo que resulta en una menor producción de metano (Pinares-Patiño *et al.*, 2003c).

La acidificación del contenido ruminal supone cambios en la composición de la flora microbiana, que incluyen una disminución de la densidad de flora celulolítica y un aumento de la flora amilolítica. Como consecuencia, se reduce la digestión de la fibra y se altera el tipo de fermentación hacia la formación de una menor cantidad de ácido acético y mayor de ácido propiónico. El tipo de ácidos grasos producido en la fermentación tiene un efecto directo sobre la cantidad de H y metano liberados, ya que, la formación de ácido acético es paralela a la de H (4 moles de H/mol acético) mientras que la de ácido propiónico implica captura de H (2 moles de H/mol propiónico). El resultado final del proceso es que un aumento de la proporción de concentrado en la ración supone un descenso considerable de la concentración de H, de bacterias metanogénicas y de la producción de metano (Van Soest, 1994). Estas particularidades fisiológicas habrían regulado una menor emisión de metano en el sistema intensivo, refrendando el hecho que en este sistema de alimentación, el cual está basado en una mayor digestibilidad de la dieta, en términos de energía principalmente.

En el caso del sistema extensivo, se aprecia un comportamiento más consecuente con la literatura reportada por otras investigaciones, donde la mayor digestibilidad presenta una menor emisión de metano. Es probable que la digestibilidad sea un mejor estimador en el sistema extensivo que en el intensivo, utilizando el modelo de estimación proveído por el IPCC (2006).

## CONCLUSIONES

### 1. Primera.

Respecto a la relación entre proteína cruda y metano la ecuación de regresión fue de  $0.0672x + 20.029$  y un valor de  $R^2 = 0.0472$  para el sistema intensivo esta fue  $y = 0.1059x + 11.228$  con un valor de  $R^2 = 0.0683$ , para el extensivo, respectivamente. Generalizándose que a mayor cantidad de proteína cruda (nitrógeno fermentable), se produciría una menor emisión de metano

### 2. Segunda

Con relación a la ecuación de regresión entre proteína by pass y metano, esta fue de  $y = 0.0046x + 6.2109$  y un  $R^2 = 0.0014$ , para el sistema extensivo la ecuación fue  $y = 0.0573x + 3.5268$  y un valor de  $R^2 = 0.0879$ . aparentemente no se presentaría una relación entre ambas variables para el sistema intensivo, en el extensivo se presentó una relación directa.

### 3. Tercera

La ecuación hallada para la proteína digestible y metano, ésta fue  $y = -0.0596x + 13.128$  y un  $R^2 = 0.0574$ , para el sistema intensivo la ecuación fue  $y = 0.0485x + 7.696$  y un  $R^2 = 0.0516$ , para el sistema extensivo. En el sistema intensivo se halló tendencia a una relación inversa, en contraste al extensivo donde ésta tendencia fue directa, debido probablemente a que se requiera una alta fermentación en los primeros dos compartimentos y se produzca mayor cantidad de metano.

### 4. Cuarta

La ecuación para el caso de la Energía neta de lactancia y metano, esta correspondió a  $y = 0.0009x + 1.5921$  con un  $R^2 = 0.0066$  para el sistema intensivo, en el extensivo ésta fue  $y = -0.0015x + 1.525$  con un  $R^2 = 0.0159$  para el extensivo, respectivamente. Se halló relación directa para el sistema intensivo, Lo que indicaría que a mayor producción de leche se produciría en proporción, una mayor emisión de metano, para el sistema extensivo se presentó una relación inversa.

### 5. Quinta

La relación entre fibra cruda y metano fue descrita con la ecuación  $y = -0.1153x + 24.074$  y un  $R^2 = 0.0731$ , para el caso intensivo y para el extensivo de  $y = -0.1607x + 30.222$  con un  $R^2 = 0.1402$ . para ambos sistemas la relación observada fue inversa, donde existe la probabilidad de que a menor cantidad de fibra cruda se incrementa la emisión de metano.

### 6. Sexta

Respecto a la relación entre Fibra detergente neutro y metano, la ecuación que describió esta relación fue de  $y = 0.006x + 34.629$  y  $R^2 = 0.0001$ , para el sistema intensivo y para el extensivo fue de  $y = -0.2118x + 51.715$  y  $R^2 = 0.1748$ . No se halló una relación para ambas variables en el sistema intensivo, para el extensivo se encontró relación inversa, donde a menor cantidad de FDN se incrementa la emisión de metano.

### 7. Séptima

La relación entre fibra detergente ácido y metano fue descrita mediante la siguiente ecuación  $y = -0.0385x + 21.357$  y un  $R^2 = 0.0108$ , para el sistema intensivo y de  $y = -0.017x + 27.397$  con un  $R^2 = 0.0025$  para el extensivo. En este caso no se encontró relación alguna para ambos sistemas.

### 8. Octava.

Con relación a la ecuación para determinar la relación entre digestibilidad y metano, esta fue de  $y = 0.0396x + 70.112$  y con un  $R^2 = 0.0065$  y para el sistema extensivo de  $y = -0.0403x + 66.225$  y un  $R^2 = 0.0087$  para el sistema intensivo se halló relación directa, en el caso del sistema extensivo se encontró relación inversa, siendo probable que este parámetro sea un mejor estimador en el sistema extensivo que en el intensivo, al usar el modelo de estimación proveído por el IPCC (2006).

## RECOMENDACIONES

1. Iniciar estudios conducentes a determinar cuantitativamente la emisión de metano entérico originada por los sistemas de producción de especies rumiantes.
2. Iniciar estudios de investigación para contrastar las emisiones estimadas de metano y las determinadas mediante marcadores (como SF<sub>6</sub>)
3. Determinar el papel de aditivos (prebióticos) en el alimento y su efecto sobre la metanogénesis.
4. Determinar la emisión de metano en especies animales nativas como camélidos.





# “ESTRATEGIAS DE CAPACITACIÓN EN NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL PARA MITIGAR LA EMISIÓN DE METANO ORIGINADA POR LA PRODUCCIÓN LECHERA EN LA IRRIGACIÓN MAJES”

## 1. Objetivos

### ➤ Objetivo General

- Capacitar a profesionales y personal involucrado en la producción de vacunos de leche en la mitigación de la emisión de metano entérico en la Irrigación Majes – Arequipa.

### ➤ Objetivos Específicos

- Ejecutar una línea de base agropecuaria para la caracterización del sistema de alimentación en la irrigación Majes – Arequipa.
- Caracterización de los sistemas de alimentación utilizados en la producción de vacunos de leche en la irrigación Majes – Arequipa.
- Análisis pormenorizado mediante química húmeda de los nutrientes contenidos en los alimentos utilizados en cada sistema de alimentación caracterizado.
- Estimación de la emisión mediante la metodología del IPCC (2006) para cada sistema en base a los alimentos previamente caracterizados.
- Proponer nuevos alimentos y determinación de composición nutricional para disminuir la emisión de metano.
- Difundir los resultados del estudio realizado entre las autoridades del sector y las organizaciones de ganaderos.

- Organizar eventos de capacitación para mejorar los sistemas de alimentación, a través de diseño de fórmulas y el uso de alternativas alimenticias no tradicionales.

## 2. Generalidades

Los esquemas de producción vacuna en la Irrigación Majes son los de tipo intensivo (estabulado) en menor proporción y los sistemas mixtos (pastoreo de alfalfa y forrajes y balanceados en el comedero). En ambos casos se basan en la capacidad de los rumiantes para aprovechar los forrajes fibrosos y transformarlos en carne y leche. De esta forma el ser humano puede conseguir un alimento de alta calidad biológica a partir de materiales que no puede consumir directamente (Obando, 2011).

Los sistemas de producción ganadera tienen efectos sobre el medio ambiente. Uno de ellos es el “efecto invernadero”, en el que participan cuatro gases distintos, de los cuales tres pueden provenir de las actividades ganaderas: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). El “potencial de calentamiento global” (PCG) de cada gas se refiere al del  $\text{CO}_2$  que toma el valor de uno. Así, el  $\text{CH}_4$  tiene un PCG 21 veces superior al del  $\text{CO}_2$ , y el  $\text{N}_2\text{O}$  tiene un PCG de 310 veces más que el del  $\text{CO}_2$ . La contribución de estos gases al efecto invernadero, según datos de 1993, fue:  $\text{CO}_2$  62%;  $\text{CH}_4$  20%; CFC 12%;  $\text{N}_2\text{O}$  4%; otros 2% (Berra *et al.*, 1994).

La crianza de ganado genera grandes cantidades diarias de residuos orgánicos (grandes consumidores de oxígeno), con importantes aportes de nitrógeno y fósforo, además de patógenos, que vehiculizados por el agua pueden producir enfermedades en las personas. Todos pueden constituir peligro potencial de contaminación del suelo, los cursos de agua superficiales y subterráneos por escorrentías y filtraciones, y de la baja atmósfera por el gas amoníaco. Estas contaminaciones contribuyen al *proceso de eutrofización de los ecosistemas acuáticos*. Si estos residuos llegan a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento, aumentan la cantidad de nutrientes para los organismos

productores (algas), con lo cual aumentan su biomasa. En los momentos de oscuridad, por su actividad metabólica consumen oxígeno disuelto en agua, disminuyendo la disponibilidad del oxígeno para la vida acuática (Dyer, 1975; Fernández Cirelli *et al.*, 2002).

En términos económicos, el sector pecuario no es uno de los principales sectores a nivel mundial, sin embargo, su importancia social y política es altamente significativa. Este sector representa el 40 % del producto interno bruto (PIB) agrícola, genera empleo para mil trescientos millones de personas y medios de subsistencia para mil millones de pobres en todo el mundo. Los productos de la ganadería suministran un tercio del consumo mundial. Con respecto a la producción mundial de carne, ésta se incrementará en más del doble, pasando de 229 millones de toneladas en 1999/01 a 465 millones de toneladas en 2050; y, la producción de leche crecerá de 580 a 1043 millones de toneladas. Es por esta razón, que el sector pecuario tiene un impacto relevante en el uso y calidad del agua, la hidrología y en los ecosistemas acuáticos; este impacto se origina en todos los segmentos de la cadena de producción (Steinfeld *et al.*, 2009)

### 3. Proceso metodológico

- **Ejecución de una línea de base agropecuaria para la caracterización del sistema de alimentación en la irrigación Majes – Arequipa.**

Para tal efecto se coordinará con los actores involucrados como AUTODEMA, Comité de Productividad Lechera – DRAA, Universidades, etc. quienes proveerán la información para alimentar la base de datos será elaborada utilizando una plataforma de software.

- **Caracterización de los sistemas de alimentación utilizados en la producción de vacunos de leche en la irrigación Majes – Arequipa.**

En base a la información proveída por la base de datos previamente elaborado se podrá diferenciar los sistemas identificados, así como las características de las raciones que se proveen a las vacas en producción.

- **Análisis pormenorizado mediante química húmeda de los nutrientes contenidos en los alimentos utilizados en cada sistema de alimentación caracterizado.**

La composición nutricional de la ración será analizada en un Laboratorio de nutrición animal especializado, y comprenderán los siguientes análisis:

- Análisis de materia seca (MS) por el método de desecación halógena.
- Análisis de Nitrógeno Total (NT) por el método de Kjeldal.
- Análisis de Nitrógeno Insoluble en Detergente Ácido (NIDA) por el método Van Soest.
- Análisis de Proteína Insoluble en Detergente Neutro (PIDN) por el método Van Soest.
- Análisis de Extracto Etéreo (EE) por el método de Soxhlet.
- Análisis de Fibra Detergente Neutro (FDN) por el método de Van Soest.
- Análisis de Fibra Detergente Ácido (FDA) por el método de Van Soest.
- Análisis de lignina detergente Ácido (LDA) por el método de Van Soest.
- Análisis de Calcio (Ca) por el método de espectrofotometría de absorción atómica.
- Análisis de Fósforo (P) por el método de espectrofotometría de absorción atómica

- **Estimación de la emisión mediante la metodología del IPCC (2006) para cada sistema en base a los alimentos previamente caracterizados.**

Las ecuaciones proveídas por el IPCC (2006), serán utilizadas para estimar la emisión de metano entérico, dichos modelos utilizan una serie de ecuaciones alimentada con la información obtenida con los análisis de química húmeda previamente realizada.

La estimación se realizará utilizando el modelo propuesto por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC., 2006)

$$FE = \frac{EB \times Ym \times 365 \text{ días/año}}{55.65 \text{ MJ/ Kg. de metano}}$$

Donde:

FE: Factor de emisión de metano (Kg. CH<sub>4</sub>/cabeza/año)

EB: Energía bruta de los recursos alimenticios dentro de cada sistema de alimentación

Ym: factor de conversión de metano, expresado como la fracción de Energía bruta del alimento que se transforma en metano.

La información que se requerirá será la siguiente:

Sistema				
Categoría	VACA	VACA	VACA	VACA
Subcategoría	Vacas en producción	Vacas en Alta Producción	Vacas Media Producción	Vacas en seca
Peso Vivo (kg)				
Coficiente actividad (sistema intensivo)				
Coficiente actividad (sistema mixto)				
Trabajo				
Digestibilidad				
Coficiente para calcular ENm (Cfi)				
Coficiente Hembra Crec				
Peso Corporal maduro (kg)				
Aumento de Peso Promedio (kg/día)				
Temperatura media (° C)				
Producción leche promedio (kg/día)				
Contenido graso leche (%)				
Coficiente Preñez				
Ym (Sistemas intensivos)				
Ym (Sistemas mixtos)				
Periodo				

- **Proponer nuevos alimentos y/o aditivos y determinación de su composición nutricional para disminuir la emisión de metano.**

Se propondrá utilizar los siguientes alimentos y/o aditivos

- Inhibidores de la formación de hidrógeno, mediante defaunación de protozoarios.
  - Uso de antimetanógenos (exudados de raíces de plantas y diversos químicos como taninos)
  - Enlaces H<sub>2</sub> alternativos, para el crecimiento microbial incrementado (uso de ácidos grasos insaturados, balances adecuados de forrajes y granos).
- **Difundir los resultados del estudio realizado entre las autoridades del sector y las organizaciones de ganaderos.**

Para tal fin, se coordinará entre los principales actores involucrados (Universidades, estado, industria y productores), para ello debería de incluirse como parte de la política agraria de la Región, organizándose una mesa de trabajo para tal fin, relevándose la importancia de conocer la contribución de la ganadería de vacunos de leche a la emisión de gases de efecto invernadero, y de las probables acciones de mitigación.

- **Organizar eventos de capacitación y de para mejorar los sistemas de alimentación, a través de diseño de fórmulas y el uso de alternativas alimenticias no tradicionales.**

Una vez establecida la coordinación y la participación de los principales actores de la actividad productiva, será muy importante capacitar a los técnicos y productores involucrados en la actividad, para ello serán organizados eventos para informar los alcances del grupo de trabajo.

#### 4. Cronograma de actividades

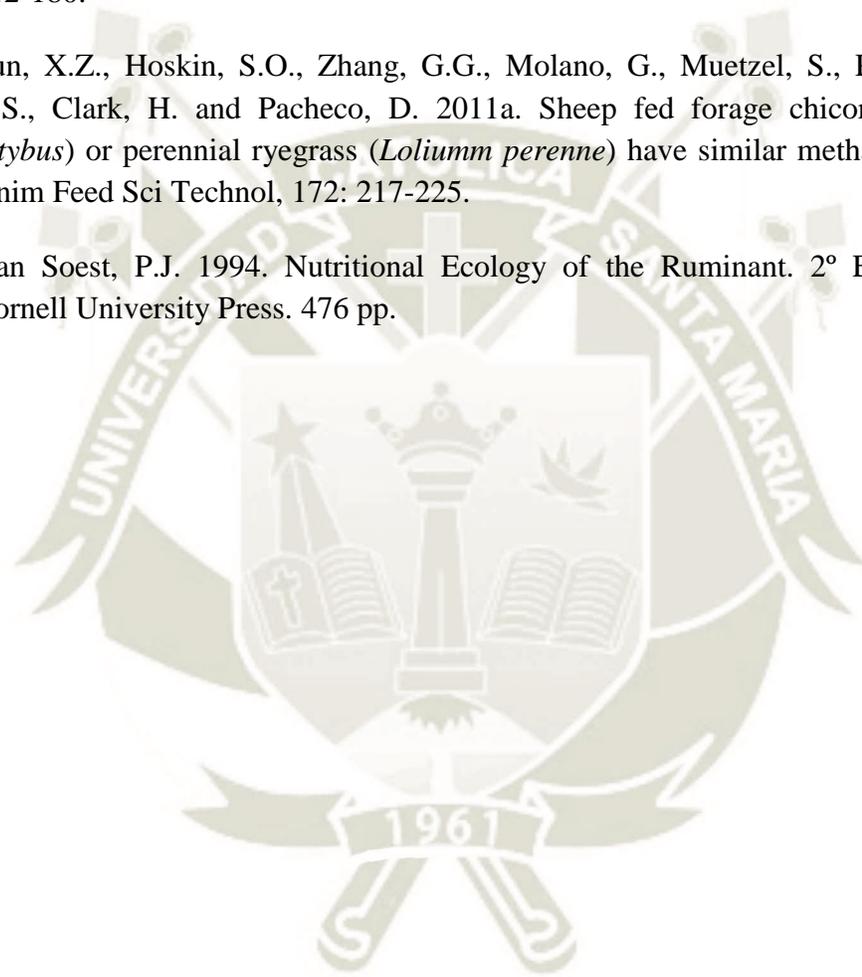
ACTIVIDADES	SEMESTRE				
	1	2	3	4	5
Ejecución de una línea de base agropecuaria para la caracterización del sistema de alimentación en la irrigación Majes – Arequipa.	X				
Caracterización de los sistemas de alimentación utilizados en la producción de vacunos de leche en la irrigación Majes – Arequipa.	X				
Análisis pormenorizado mediante química húmeda de los nutrientes contenidos en los alimentos utilizados en cada sistema de alimentación caracterizado.		X			
Estimación de la emisión mediante la metodología del IPCC (2006) para cada sistema en base a los alimentos previamente caracterizados.		X			
Proponer nuevos alimentos y/o aditivos y determinación de su composición nutricional para disminuir la emisión de metano.			X	X	
Difundir los resultados del estudio realizado entre las autoridades del sector y las organizaciones de ganaderos.				X	X
Organizar eventos de capacitación para mejorar los sistemas de alimentación, a través de diseño de fórmulas y el uso de alternativas alimenticias no tradicionales.		X	X	X	X

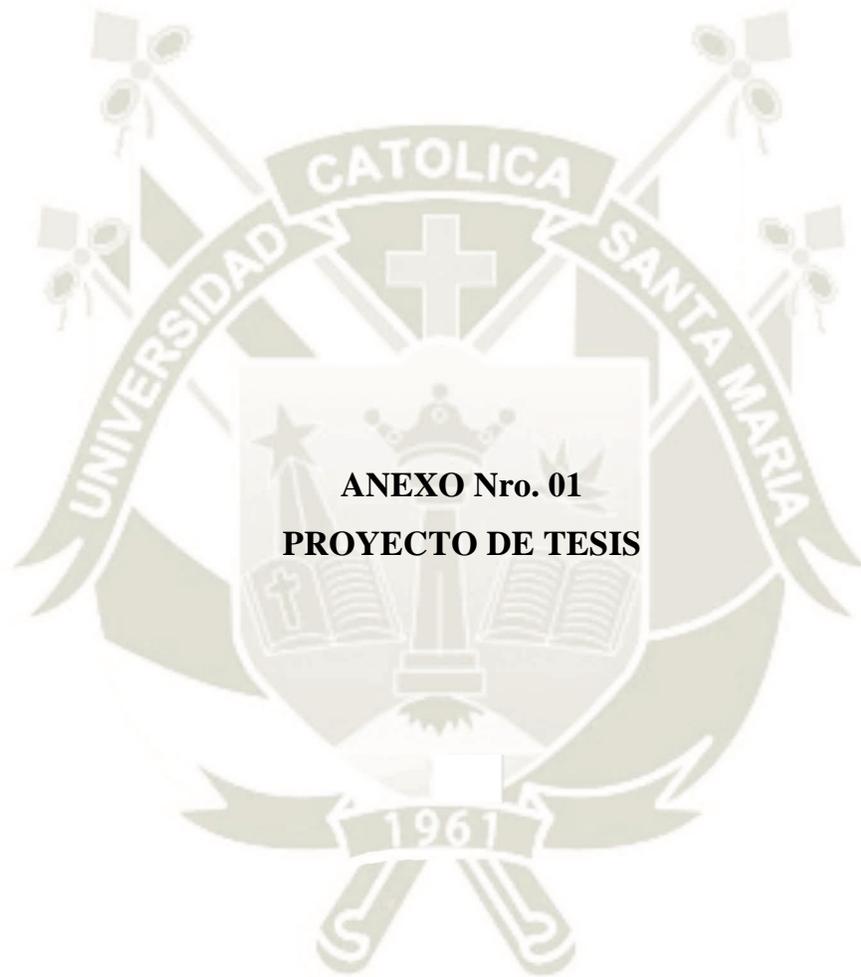
## BIBLIOGRAFÍA

1. Berra, G. y L. Finster. 2005. Influencia de la ganadería argentina: Emisión de Gases de Efecto Invernadero. Boletín INTA – Castelar. Argentina.
2. Blaxter K.L. y Clapperton. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. British Journal of nutrition V. 19 p 511-522.
3. Buddle, B.M., Denis, M., Attwood, G.T., Altermann, E., Janssen, P.H., Ronimus, R.S., Pinares-Patiño, C.S., Muetzel, S. and Wedlock, D.N. 2011. Archivos de zootecnia vol. 61 (R), p. 62. Review: Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pastures. The Vet J, 188: 11-17.
4. Cardona M G, Sorza J D, Posada S L, Carmona J C, Ayala S A y Alvarez O L. 2002. Establecimiento de una base de datos para la elaboración de tablas de contenido nutricional de alimentos para animales. Rev Col Cienc Pec. 15 (2): 240-246
5. Dyer, I.A. y O'Mary, C.C. Engorde a corral (The Feedlot), Ed. H. Sur, 1975.
6. Ellis, J.L., Dijkstra, J., France, J., Parson, A.J., Edwards, G.R., Rasmussen, S., Kebreab, E. y Bannink, A. 2012. Effect of high-sugar grasses on methane emissions simulated using a dynamic model. J Dairy Sci, 95: 272-285.
7. Fernández Cirelli, A.; Miretzky, P.; Martins Alho, M. Principales problemas, parámetros físico químicos asociados y metodologías para su determinación. En: Perez Carrera, A.; Garaicoechea, J. y col. Aspectos ambientales de las actividades agropecuarias, 2002: 27 - 90.
8. Hanson GD, Cunningham LC, Morehart MJ, Parsons RI. (1998). Profitability of moderate intensive grazing of dairy cows in the Northeast. J. Dairy Sci. 81: 821–829.
9. Hess, H.D., Monsalve, L.M., Lascano, C.E., Carulla, J.E., Díaz, T.E. and Kreuzer M. 2003. Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits: effects on *in vitro* ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. Aust J Agri Res, 54: 703-713.
10. Henning Steinfeld, Pierre Gerber, Tom Wassenaar, Vincent Castel y M. Rosales Cees de Haan. 2009. La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2009
11. IPCC. 2006. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4. Agriculture, forestry and land use. IGES. Kanagawa, Japón. Chapter 10. p. 10.1-10.87.

12. Johnson KA, Johnson DE. 1995. Methane emissions from cattle. *J Anim Sci* ;(73):2483-2492.
13. Leng, R.A. 1997. Tree foliage in ruminant nutrition. *Fao Animal Production and Health*. Documento No. 139, Rome.
14. Lila, Z.A, N. Mohammed, S. Kanda, T. Kamada y H. Itabashi. 2003. Effect of saponin on ruminal fermentation with particular reference to methane production in vitro. *J. Dairy Sci.* 86:3330–3336.
15. López Luján, M. C. 2009. Efecto de la dieta sobre la producción de metano en ganado caprino: resultados preliminares y puesta a punto de la metodología. Tesis de Máster. Universidad Politécnica de Valencia. España.
16. Monsalve L, 2003. Suplementación de una gramínea tropical con leguminosas y *Sapindus saponaria*: Efectos sobre la fermentación ruminal y la metanogénesis *in vitro*. Trabajo de grado para optar el título de Zootecnista, Universidad Santa Rosa de Cabal.
17. Moe, P.W. and Tyrrell, H.F. 1979. Methane production in dairy cows. *J Dairy Sci*, 62: 1583-1586.
18. Moss A.R, Jouany JP, Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales of Zootechnie* 49, 231-253.
19. Obando, A. 2011. Estimación del Factor de Emisión de Metano, bajo diferentes Sistemas de Alimentación y fases del Ciclo Gestación - Lactancia, en la irrigación Majes. Tesis Doctoral – Escuela de Postgrado. Universidad Católica de Santa María. Arequipa – Perú.
20. O’Neill BF, Deighton MH, O’Loughlin B M, Mulligan FJ, Boland TM, O’Donovan M, Lewis E. (2011). Effects of a perennial ryegrass diet or total mixed ration diet offered to spring-calving Holstein-Friesian dairy cows on methane emissions, dry matter intake, and milk production. *J. Dairy Sci.* 94: 1941–1951.
21. Pinares-Patiño, C.S., Ulyatt, M.J., Lassey, K.R., Barry, T.N. and Holmes, C.W. 2003c. Rumen function and digestion parameters associated with differences between sheep in methane emissions when fed chaffed lucerne hay. *J Agr Sci*, 140: 205-214

22. Primavesi, O., Frighetto, R.T.S., Pedreira, M.S., Lima, M.A., Berchielli, T.T. and Rodrigues, A.A. 2003. Low-fiber sugarcane to improved meat production with less methane emissions in tropical dry season. <http://www.coalinfo.net.cn/coalbed/meeting/2203/papers/agriculture/AF066.pdf>
23. Rushen J, de Passillé AM, von Keyserlingk MAG., Weary D.M. (2008). Housing for adult cattle. In: The welfare of cattle. Springer. Amsterdam, Netherlands. pp 142-180.
24. Sun, X.Z., Hoskin, S.O., Zhang, G.G., Molano, G., Muetzel, S., Pinares-Patiño, C.S., Clark, H. and Pacheco, D. 2011a. Sheep fed forage chicory (*Cichorium intybus*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) have similar methane emissions. Anim Feed Sci Technol, 172: 217-225.
25. Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2° Ed. Comstock. Cornell University Press. 476 pp.





# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA DE POSTGRADO

### MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL



## RELACIÓN ENTRE EL FACTOR DE EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO Y LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA RACIÓN EN VACAS LECHERAS DE LA IRRIGACIÓN MAJES - AREQUIPA.

Proyecto de tesis presentada por la  
Bachiller **Elena Alicia Luperdi Puente  
De La Vega**, Para optar el Grado  
Académico de Magíster en Producción y  
Salud Animal

**AREQUIPA – PERÚ**

**2015**

## I. PREÁMBULO.

El metano ( $\text{CH}_4$ ) forma parte del grupo de gases de efecto invernadero (GEI), el mismo que se origina como producto final de la fermentación que sufren los alimentos en el rumen, en términos de energía se considera una pérdida, y en términos ambientales contribuye al calentamiento y al cambio climático global. La investigación en nutrición animal se ha enfocado en su mayor parte a encontrar métodos de reducción de las emisiones de  $\text{CH}_4$ , debido a la ineficiencia energética que ocurre en el rumen, y no por el rol del  $\text{CH}_4$  en el calentamiento global. Sin embargo, a la fecha se está prestando más atención a su contribución potencial al cambio climático (Johnson y Johnson, 1995; Van Amstel, 2005). El  $\text{CH}_4$  pertenece al grupo de gases GEI, en el que se encuentran también el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos, (PFC) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), (Protocolo de Kyoto de la Convención ONU, 1998).

Estos gases tienen moléculas con dos o más átomos que se mantienen unidos con suficiente espacio entre sí para poder vibrar cuando absorben calor; eventualmente la molécula que vibra libera radiación y ésta será posiblemente absorbida por otra molécula de GEI. A este proceso de mantener calor cerca de la superficie de la tierra, se le conoce como efecto invernadero. Los GEI son liberados a la atmósfera tanto por fuentes naturales como antropogénicas.

La cantidad de GEI liberados mediante la actividad humana se ha incrementado de manera significativa en los últimos años, lo cual está propiciando la amplificación del efecto invernadero natural y el cambio climático global. La agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$  a la atmósfera. Por estos motivos se están encaminando esfuerzos a reducir las emisiones y prevenir el calentamiento global, y proteger así el sistema climático natural del planeta, y se considera que los sistemas de producción animal sostenibles deben propender por una menor producción de  $\text{CH}_4$  (NCAE, 1998; Primavesi *et al.*, 2004).

La producción de CH<sub>4</sub> en los rumiantes está influenciada por factores como consumo de alimento, composición de la dieta, digestibilidad del alimento, procesamiento previo del alimento y frecuencia de alimentación. Entre las estrategias para mitigar las emisiones de CH<sub>4</sub> se ha propuesto, reducir el número de animales rumiantes, aumentar el número de animales no rumiantes, manipulación genética de los microorganismos ruminales metanogénicos, desarrollo de razas menos metanogénicas y manipulación dietética-nutricional; esta última parece ser la de mayor potencial en términos de simplicidad y factibilidad. La manipulación nutricional para suprimir la metanogénesis incluye uso de forrajes de alta calidad, alta proporción de granos en la dieta, uso de aditivos (compuestos químicos, ácidos orgánicos, ionóforo y probióticos), dietas ricas en ácidos grasos insaturados, adición de acetógenos, de bacteriocinas, de virus vs *Archaea*, y de extractos vegetales (aceites esenciales), modificación de las prácticas de alimentación y suplementación a dietas basadas en pajas. Estas prácticas de alimentación reducen las emisiones de CH<sub>4</sub> por la modificación de la fermentación ruminal, inhibiendo directamente los metanogénicos y protozoarios, o desviando los iones hidrógeno de los metanogénicos (Boadi *et al.*, 2004).

Los bovinos poseen un sistema digestivo que tiene la capacidad de aprovechar y convertir material fibroso con altos contenidos de carbohidratos estructurales, en alimentos de alta calidad nutritiva, la carne y la leche. Sin embargo, por sus características innatas, este mismo sistema digestivo también produce metano, un potente gas con efecto invernadero que contribuye con aproximadamente el 18% del calentamiento global ocasionado por actividades productivas con animales domésticos, superado sólo por el CO<sub>2</sub> (Montenegro y Abarca, 2000).

La manipulación de la dieta de los rumiantes se considera una alternativa viable para aminorar la producción de metano y a la par 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.

Los reportes en la literatura señalan que los sustratos de baja calidad que, generalmente están relacionados con bajo consumo debido a su baja tasa de pasaje, no sólo tienen efecto sobre bajos rendimientos por animal, sino que también involucran aspectos tan importantes como lo es el incremento de las emisiones de metano. El mejoramiento de las características nutricionales del forraje y la implementación de sistemas estratégicos de suplementación, como la presencia de otros estratos vegetales en el ecosistema pastura, tipo sistemas silvopastoriles, pueden mejorar las características fermentativas a nivel ruminal, reflejándose en mayor productividad y generalmente en una disminución en las emisiones de metano (Carmona *et al.*, 2005).

## II. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

### 1. Problema de Investigación

#### 1.1. Enunciado del problema.

RELACIÓN ENTRE EL FACTOR DE EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO Y LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA RACIÓN EN VACAS LECHERAS DE LA IRRIGACIÓN MAJES - AREQUIPA.

#### 1.2. Descripción del problema

##### 1.2.1 Área del conocimiento al que pertenece

La presente investigación se halla dentro del área de conservación del ambiente, considerando que se relacionará la emisión de  $\text{CH}_4$  con la composición nutricional de la ración en vacunos lecheros, en dos sistemas de alimentación. La ejecución del presente estudio responde a la inquietud que existe actualmente, en referencia al papel de los rumiantes como importantes emisores de GEI, en el cual, el papel de la nutrición es un importante regulador de la emisión de dichos gases.

### 1.2.2 Análisis y Operacionalización de variables

Variables	Tipo de variable	Indicadores	Sub-indicadores	Sub - Sub - indicadores		
<b>Composición Nutricional</b> <i>(Calidad, tipo y proporción de nutrientes contenido en alimentos ofertados a los animales).</i>	Independiente	<b>Alimentos del Sistema Intensivo</b> <i>(Animales estabulados, con el uso de altos niveles de insumos concentrados balanceados y el uso de ensilaje de maíz entre los forrajes empleados).</i>	Nutrientes como fuente de proteína (calculado en base a software de programación lineal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteína cruda</li> <li>• Proteína sobrepasante</li> <li>• Proteína degradable</li> </ul>		
			Nutrientes y valor nutricional de energía (calculado en base a software de programación lineal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energía neta de lactancia (ENI)</li> <li>• Nutrientes digestibles totales (NDT)</li> </ul>		
			Nutrientes como fuente de fibra dietética (calculado en base a software de programación lineal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibra cruda</li> <li>• Fibra detergente neutro</li> <li>• Fibra detergente ácido</li> </ul>		
			Digestibilidad (calculado en base a software de programación lineal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de digestibilidad de la ración.</li> </ul>		
		<b>Alimentos del Sistema Mixto</b> <i>(Pastoreo de alfalfa por horas y suministro de ensilaje de maíz y otros forrajes en el establo. Utilización de cantidades intermedias de balanceados de calidad variable).</i>	Nutrientes como fuente de proteína (calculado en base a software de programación lineal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteína cruda</li> <li>• Proteína sobrepasante</li> <li>• Proteína degradable</li> </ul>		
			Nutrientes y valor nutricional de energía (calculado en base a software de programación lineal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energía neta de lactancia (ENI)</li> <li>• Nutrientes digestibles totales (NDT)</li> </ul>		
			Nutrientes como fuente de fibra (calculado en base a software de programación lineal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibra cruda</li> <li>• Fibra detergente neutro</li> <li>• Fibra detergente ácido</li> </ul>		
			Digestibilidad (calculado en base a software de programación lineal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de digestibilidad de la ración.</li> </ul>		
		<b>Factor de emisión de CH<sub>4</sub> entérico</b> <i>(Índice de producción individual de metano por animales)</i>	Dependiente	Kg. de CH <sub>4</sub> entérico /vaca/año <i>(Kilos de metano producido por animal en un año)</i>	Kg. de CH <sub>4</sub> entérico /vaca/año. (Estimado en base a ecuaciones sumativas del IPCC, 2006).	Kg. de CH <sub>4</sub> entérico /vaca/año

### 1.2.3 Interrogantes de investigación

- Bajo el supuesto del aporte de nutrientes y del valor nutricional de los alimentos proveídos en un sistema de alimentación intensivo, ¿cuál será el factor de emisión de CH<sub>4</sub> influenciado por dichos nutrientes y su valor nutricional?
- Bajo el supuesto del aporte de nutrientes y del valor nutricional de los alimentos proveídos en un sistema de alimentación mixto, ¿cuál será el factor de emisión de CH<sub>4</sub> influenciado por dichos nutrientes y su valor nutricional?
- Considerando los dos sistemas de alimentación, ¿existirán diferencias significativas en de estimación del factor de emisión de metano entre ambos sistemas influenciado por la composición nutricional de la ración?

### 1.2.4 Tipo y nivel de investigación

- En cuanto a su finalidad, es un estudio aplicado.
- Según el Tipo de Diseño de Investigación, es un estudio no experimental.
- Según su prolongación en el tiempo, el estudio es transversal o sincrónico.
- Según el énfasis en la naturaleza de los datos, el estudio es cuantitativo.
- Considerando el nivel de investigación, está corresponde a una investigación descriptiva y relacional.

## 1.3. Justificación del problema

### 1.3.1 Importancia científico – tecnológica.

El calentamiento global es una nueva preocupación de la sociedad actual, y es tema gravitante dentro de las políticas ambientales de la mayoría de países. Las emisiones de GEI de origen antropogénico, se originan por la intensa actividad humana, y dentro de ello la actividad agropecuaria. Diversas investigaciones han relacionado la calidad de la dieta o ración con la emisión de GEI, en rumiantes bajo diversos sistemas de

alimentación. A la fecha, en la zona de estudio no se ha relacionado el efecto de la emisión de metano con la calidad nutricional de los alimentos que consumen. Esta información podría representar importantes puntos de partida para reducir las emisiones de GEI, mediante la manipulación de la disponibilidad y/o modificación de los nutrientes presentes en las dietas suministradas, bajo las condiciones actuales de la Irrigación Majes, dicha irrigación representa una zona especializada para la producción ganadera, en especial aquella relacionada a la ganadería lechera.

### **1.3.2 Importancia para el hombre**

Cualquier actividad humana siempre se hallan acompañada de algún impacto sobre el ambiente, en el caso particular de la actividad ganadera, se ha demostrado que la producción de ganado vacuno contribuye grandemente a la emisión de gases de efecto invernadero, especialmente el  $\text{CH}_4$ , el mismo que se produce cuando las dietas presentan desbalances en su composición, tal podría ser el caso de los actuales sistemas de alimentación en la Irrigación Majes.

### **1.3.3 Factibilidad y aportes**

La densidad de nutrientes y la calidad de estos, podrían tener un efecto sobre la fermentación a nivel ruminal y contribuir en diferente grado sobre la emisión de GEI, considerando que el  $\text{CH}_4$  se produce durante esta fermentación, el mismo representa una pérdida energética para el animal y una importante fuente de contaminación ambiental. A la fecha existen metodologías estandarizadas que permiten estimar la relación matemática entre la emisión y la calidad nutricional de los alimentos, permitiendo contar con modelos y ecuaciones de predicción con datos originados en sistema biológicos, estas metodologías permitirán en el presente estudio, determinar si existe esta relación bajo condiciones de la zona de estudio.

## 2. MARCO CONCEPTUAL.

### **Ganadería y su relación con el calentamiento global.**

La emisión de metano entérico representa un 30% de las emisiones de metano de origen antropogénico y un 50% de las provenientes del sector agrícola (Solomon *et al.*, 2007). El metano es un gas de efecto invernadero con 23 veces mayor potencial de calentamiento global que el dióxido de carbono y un tiempo de vida media de 10 años en la atmósfera (Solomon *et al.*, 2007). La producción de metano entérico constituye una pérdida energética para el rumiante que representa entre el 2 y el 12% de la energía bruta consumida (Johnson y Johnson, 1995). Es por esto que algunos autores han propuesto que para la disminución de las emisiones de metano entérico puede ser una estrategia el aumento de la productividad animal (al disminuir las pérdidas energéticas) disminuyendo al mismo tiempo el impacto ambiental (al disminuir las emisiones de metano a la atmósfera) (Neely *et al.*, 2009). En la literatura se reportan múltiples revisiones sobre la producción de metano por los rumiantes (Johnson y Johnson, 1995; Boadi *et al.*, 2004; Martin *et al.*, 2009; Patra y Saxena *et al.*, 2010), algunas de ellas orientadas a determinar estrategias de alimentación que permitan reducir las emisiones de metano reconociendo factores del animal (tasa de pasaje, consumo residual), de la dieta (composición, relación forraje: concentrado), inclusión de aditivos (ácidos grasos, taninos purificados) y modificadores de las poblaciones ruminales (ionóforos, vacunas). Sin embargo, ninguna de éstas ha abordado el tema desde el punto de vista del pastoreo a pesar de que un 35% de la producción de metano entérico proviene de sistemas pastoriles (Niggli *et al.*, 2009).

### **2.1 Formación de metano.**

El metano entérico es un producto de la fermentación anaerobia resultado de un complejo sistema simbiótico entre diferentes grupos microbiales presentes a lo largo del tracto digestivo del rumiante, fundamentalmente en el rumen (Van Soest, 1994). Los microorganismos del rumen metabolizan los carbohidratos de la dieta convirtiéndolos principalmente en ácidos grasos

volátiles como acetato, propionato y butirato. En el proceso de síntesis de acetato y butirato se producen moléculas de hidrógeno las cuales deben ser removidas para mantener la eficiencia energética durante los procesos de fermentación anaerobia (Beauchemin *et al.*, 2008). Las principales vías de remoción de hidrógeno se hacen a través de la biohidrogenación de ácidos grasos insaturados, la formación de ácido propiónico y de metano (Van Soest, 1994). La formación de metano por un grupo de microorganismos metanogénicos (*Archaea*) es la vía más importante de remoción de hidrogeno. Los *Archaea* más destacados en el rumen son *Methanobrevibacter, ruminantium, Methanobacterium formicicum* y *Methanomicrobium mobile*, que reducen el dióxido de carbono usando el hidrógeno como fuente de energía (Attwood y McSweeney, 2008).

## 2.2.- Especies forrajeras y la producción de metano entérico

El conocimiento actual sugiere que se pueden encontrar diferencias en la emisión de metano entérico cuando se evalúan diferentes especies forrajeras como fuente de alimento. Por ejemplo, Mieres *et al.* (2002) encontraron que el uso de pasturas nativas producía mayores cantidades de metano por unidad de MS (materia seca) consumida que una pastura mejorada o introducida, resultado de sus características composicionales. Debido a la gran diversidad de especies forrajeras estudiadas en esta revisión se clasifican los trabajos publicados en tres grandes grupos donde se compararon gramíneas C3 y C4, variedades dentro de un mismo forraje y gramíneas y leguminosas.

## 2.3. Gramíneas C3 vs C4

Las plantas C3 y C4 se diferencian en que su primer producto de la fotosíntesis es un compuesto de tres (ácido 3 fosfoglicérico) o cuatro (ácido oxalacético) carbonos, respectivamente (Salisbury y Ross, 2000). En general las gramíneas forrajeras C3 debido a sus diferencias fisiológicas están compuestas por una mayor proporción de tejidos de alta digestibilidad

respecto a las C4 (Wilson, 1993). Las primeras investigaciones que compararon la producción de metano en especies C3 y C4 fueron realizadas por Margan *et al.* (1988) quienes concluyeron que ovejas alimentadas con especies C4 (*Digitaria decumbens* y *Setaria sphacelata*) produjeron 14,3% más metano por unidad de energía digestible consumida que aquellas alimentadas con especies C3 (ryegrass perenne (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). El consumo de especies C4 en comparación con las C3 se han relacionado con una menor producción de leche y/o carne, lo cual resulta en una mayor emisión de metano por unidad de producto (por ejemplo, intensidad de emisión) (Waghorn y Hegarty, 2011). Algunos autores sugieren que la mayor producción de metano asociados con la alimentación de forrajes C4 puede deberse a un mayor contenido de carbohidratos estructurales y lignina (Kamra *et al.*, 2010), menor consumo y tasa de pasaje más lenta (McAllister *et al.*, 1996). Asimismo, las ecuaciones desarrolladas por Moe y Tyrrell (1979) evaluando 404 ensayos desarrollados con ganado de leche sugieren que dietas a base de carbohidratos estructurales producen mayores proporciones de metano por unidad degradada que aquellas donde prevalecen los carbohidratos no estructurales. Otros autores sugieren que en animales alimentados con forrajes tropicales se produce más metano (>8%) por unidad de energía bruta consumida que con aquéllos de zonas templadas (7%) debido a una mayor proporción de carbohidratos estructurales (Clark *et al.*, 2005). Otras investigaciones sugieren que no hay efecto del tipo de especie C3 o C4 sobre las emisiones de metano (Klevenhusen *et al.*, 2009). Además en forrajes tropicales y templados no se ha encontrado una clara asociación entre los componentes de la dieta y la producción de metano (Clark *et al.*, 2005). Algunos autores sugieren que las diferencias en la variación en la producción de metano entre especies puede relacionarse en una mayor medida a diferencias en el nivel de consumo (Muetzel *et al.*, 2009; Sun *et al.*, 2011a), tasas de degradación y paso diferencial entre especies forrajeras (Pinares-Patiño *et al.*, 2007a) que a la composición de la dieta (Sun *et al.*, 2011b) y la especie animal (Primavesi

*et al.*, 2004). Es por esto que hay que ser cuidadoso al generalizar estos resultados y debe hacerse una mayor investigación en torno a la producción de metano en especies C3 y C4 (Kurihara *et al.*, 1999).

### **Especies y variedades**

Existen muy pocos trabajos que se enfoquen en reconocer las diferencias en las emisiones de metano entre diferentes variedades de una misma especie. Es posible que las diferencias en la calidad nutricional de cada variedad dentro de una especie puedan modificar las emisiones de metano. En estudios *in vitro* donde se incluyó ryegrasses con 12% más de azúcares solubles mostró una reducción de metano en un 10% (Lovett *et al.*, 2005). Sin embargo, otros trabajos *in vitro* no han reportado diferencia entre variedades altas y bajas en carbohidratos solubles (Lovett *et al.*, 2004). Misselbrook *et al.* (2010) observaron *in vivo* que variedades de ryegrass con mayores contenidos de carbohidratos solubles presentaron una menor producción de metano (24%).

Primavesi *et al.* (2003) compararon las emisiones de metano provenientes de animales en pastoreo que recibieron suplementación de caña de azúcar con mayor y menor contenido de fibra en detergente neutro, reportando un 30% menos metano por unidad de peso vivo en aquéllas dietas más ricas en carbohidratos no estructurales. Además estos autores sugirieron que cuando se incluye un alimento balanceado en un 40% de la dieta, con bajo contenido de fibra, produce menos metano por unidad de producto (carne o leche). Una mayor concentración de proteína cruda ha sido asociada con la disminución en las emisiones de metano. En ensayos *in vitro* donde se comparó ryegrass perenne con 75% más proteína cruda se reportó 14% menos metano por unidad de materia orgánica degradada (Lovett *et al.*, 2004). Resultados similares fueron reportados por Navarro-Villa *et al.* (2011) quienes observaron una disminución de 7% en la emisión de metano por unidad de MS incubada en ryegrass perenne con 3% más de proteína cruda. La poca información relacionada con emisiones de metano asociadas a diferencias en

variedades de una misma especie sugeriría que el uso de variedades bajas en fibra y ricas en azúcares y proteína cruda podría ser una opción viable para reducir las emisiones de metano por unidad de producto (carne o leche) al aumentar la productividad animal. En este sentido Ellis *et al.* (2012) sugiere que la alimentación de forrajes con mayor concentración de azúcares o proteína disminuye hasta en un 13% la producción de metano por unidad de producto.

### **Gramíneas vs leguminosas**

En estudios *in vitro* la inclusión de leguminosas tropicales bajas en taninos condensados ha presentado un aumento en las emisiones de metano por unidad de materia orgánica fermentada asociado a una mayor degradabilidad de nutrientes (Hess *et al.*, 2003).

Hess *et al.* (2003), evaluaron la inclusión de una leguminosa baja en taninos (*Arachis pintoi*) en proporciones crecientes (33, 66 y 100%) en una dieta base de gramínea (*Brachiaria humidicola*) y encontraron una relación lineal creciente entre la inclusión de leguminosa y la producción de metano por unidad de FDN fermentada. Igualmente Tiemann *et al.* (2008a) sugieren un aumento del 35% en la producción de metano por unidad de FDN fermentada cuando se incluye una leguminosa baja en taninos (*Vigna unguiculata*) en una dieta a base de gramínea (*Brachiaria humidicola*) en proporción 1: 2, comparando con la gramínea pura. Estudios *in vitro* con leguminosas y gramíneas de zonas templadas muestran resultados completamente diferentes a los estudios con forrajes tropicales. Navarro-Villa *et al.* (2011) reportaron una disminución de 7% en la producción de metano por unidad de MS incubada al comparar trébol respecto a ryegrass perenne. En estudios *in vivo* McCaughey *et al.* (1999) observaron una reducción de un 25% de las emisiones de metano por energía bruta ingerida cuando se comparó una dieta de gramínea (*Bromus biebersteinii*) con una asociación de gramínea: leguminosa (*Bromus biebersteinii*: *Medicago sativa*).

Otros trabajos donde se ha sustituido la gramínea *Bromus biebersteinii* por *Medicago sativa* han presentado disminuciones del 20% en las emisiones de metano por unidad de MS consumida (Chavez *et al.*, 2006), razón por la cual Martin *et al.* (2009) sugirieron que la inclusión de *Medicago sativa* promueve una mayor tasa de pasaje y debido a sus altos contenidos de malato en las hojas, el cual es un intermediario en la vía de producción de propionato, podría disminuir la producción de metano entérico al aumentar la relación propionato: acetato en el rumen. De Klein *et al.* (2008) sugirieron que la inclusión de leguminosas en la dieta podría disminuir la producción de metano por unidad de MS consumida hasta en un 53%. Esto se ha relacionado con un menor contenido de fibra en las dietas con leguminosas, una reducción en el pH, aumento del amonio, ácidos grasos volátiles y relación propionato: acetato en el rumen, mayor tasa de pasaje y la presencia de algunos metabolitos secundarios (Eckard *et al.*, 2010). La inclusión de leguminosas de zona templada en dietas de gramíneas tropicales ha mostrado resultados similares a lo reportado para dietas de zonas templadas. Hunter (2007) compararon la producción de metano en novillos Brahman que recibieron una dieta de gramíneas tropicales como *Dichanthium aristatum* y *Chloris gayana*, frente a aquellos que consumieron alfalfa (*Medicago sativa*), y reportaron emisiones de metano por unidad de ganancia de peso 4 veces más altas en animales

### **Consumo voluntario y emisión de metano entérico**

La literatura reporta que el consumo de MS es el principal factor que influye sobre la producción de CH<sub>4</sub> entérico (Buddle *et al.*, 2011). Las primeras investigaciones que evaluaron el efecto del consumo sobre la producción de CH<sub>4</sub> encontraron una estrecha relación con la cantidad de alimento y la digestibilidad de la dieta, presentándose una mayor producción de CH<sub>4</sub> en dietas de baja digestibilidad a un nivel de consumo de mantenimiento, por el contrario dietas con alta digestibilidad y un consumo tres veces mayor al de mantenimiento disminuyó la producción de CH<sub>4</sub> (30%) (Blaxter y

Clapperton, 1965). El aumento en el consumo de MS se relaciona con una mayor tasa de paso y la disminución en la degradabilidad de la dieta, lo que resulta en una menor producción de metano (Pinares-Patiño *et al.*, 2003c). Investigaciones recientes han sugerido que el aumento en el nivel de consumo en dietas ricas en forrajes disminuye las emisiones de metano por unidad de materia seca consumida (11 a 14%) (Sun *et al.*, 2011a; Hammond *et al.*, 2011). Sin embargo, la magnitud en la reducción no es tan grande como aquella reportada por Blaxter and Clapperton (1965) debido probablemente a la poca variabilidad en composición química y digestibilidad de los forrajes evaluados. La relación entre consumo voluntario y emisión de metano por unidad de consumo sugiere que todas aquellas prácticas asociadas al aumento del consumo de MS de los forrajes serían potencialmente conducentes a una menor producción de metano por unidad de MS ingerida.

### **2.1.2. Sistema de alimentación de la vaca lechera en la región**

Un gran porcentaje de las explotaciones lecheras en la zona de estudio, siguen un esquema semi-intensivo, por lo que la alimentación es básicamente a base de forrajes, que pueden ofrecerse en forma fresca, seca y conservada (alfalfa fresca, heno de alfalfa o ensilaje de maíz, respectivamente). Aproximadamente 52754 hectáreas se hallan sembradas de forrajes, de las cuales 50328 están sembradas con alfalfa, y las 2426 hectáreas restantes, con maíz forrajero. El área sembrada con alfalfa representa el 95%, las variedades más utilizadas y de mejores resultados en la región, en el caso de la alfalfa, la representa la variedad California 56, CUF 101, Super Lechera, la Tambo y MOAPA 69; respecto al maíz se utilizan las variedades, Opaco Malpaso (especialmente adaptadas para el clima de la región), el Pioneer, De Cal y PM 212. En lo referente a los rendimientos obtenidos al año 2,001 se reportan para el caso de alfalfa: 56 TM/ha, y para el caso de maíz: 39.4 – 90.0 TM/ha. (SIRA, 2004).

Según el Ministerio de Agricultura (1993), el 53.17% de la superficie de la Irrigación de Majes (6.169 has) está cultivada de alfalfa y el 2.11% (245 has) de maíz chala.

#### **a) Sistemas intensivos**

El sistema intensivo solo se encuentra en 0.8% y 1.6% de los establos de la zona de Santa Rita y las Pampas de Majes, con un nivel de más de 200 kg leche/establo/día (Espinoza, 2008). Este sistema se caracteriza por poseer el mayor nivel tecnológico y el uso de cantidades significativas de alimentos concentrados

#### **c) Sistemas mixtos**

Espinoza (2008), menciona que el 80% de establos poseen el sistema de explotación mixto. Este sistema se caracteriza por utilizar principalmente pastoreo de alfalfa y pequeñas cantidades de suplementación con ensilados y concentrados en el momento del ordeño.

## **2.2 Efecto invernadero y la participación del metano originado durante la producción ganadera.**

### **2.2.1 Generalidades sobre el efecto invernadero**

La presencia en la atmósfera de algunos gases, como el vapor de agua, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y los clorofluorcarbonados (CFC) implica un incremento de la temperatura del aire. Esto es debido a que estos gases permiten el paso de la radiación solar, pero absorben una parte de la irradiación infrarroja reemitida desde la Tierra. Aunque sólo constituyen una pequeña proporción ( $< 1\%$ ) de los gases de la atmósfera, la existencia de gases invernadero de origen natural ha favorecido el desarrollo de vida en la Tierra, ya que se estima que en su ausencia la temperatura media descendería desde los  $+15^\circ\text{C}$  actuales hasta los  $-18^\circ\text{C}$ ,

donde la vida no sería posible. Sin embargo, el aumento de emisiones ligado a la actividad humana (agricultura, industria, transporte, etc.) ha supuesto un incremento sustancial de las emisiones totales, especialmente en los últimos años, y la consiguiente alarma sobre las consecuencias de un recalentamiento global. Así, la concentración de  $\text{CH}_4$  atrapada en los hielos polares permaneció estable hasta hace unos 100 años ( $\approx 750$  ppb), momento en el que empezó a aumentar hasta alcanzar los niveles actuales de 1.800 ppb (Khalil *et al.*, 1993; Johnson y Johnson, 1995).

El poder de captación de la radiación varía de unos gases a otros, de forma que aunque el  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y CFC se encuentran en la atmósfera a concentraciones muy inferiores al  $\text{CO}_2$  (200 veces menor en el caso del  $\text{CH}_4$ ), su contribución al efecto invernadero alcanza niveles muy significativos: 18, 6 y 14%, respectivamente, frente al 49% del  $\text{CO}_2$ . Existen también diferencias notables entre estos gases en cuanto a su vida media en la atmósfera (Van Soest, 1994; Chatelier y Verité, 2003), que es notablemente más corta para el metano (10-20 años) que para el  $\text{CO}_2$  (50-200 años) y el óxido nitroso (100-150 años). Como consecuencia, el acuerdo de Kyoto ha enfatizado el interés en priorizar la actuación sobre las emisiones de metano, por tener una repercusión más rápida en la reducción del efecto invernadero.

Es importante tener en cuenta que en el protocolo de Kyoto, los inventarios de emisiones de dióxido de carbono sólo contabilizan el  $\text{CO}_2$  que procede de combustibles de origen fósil (petróleo, carbón, gas natural). En cambio, no se considera el  $\text{CO}_2$  que se emite a partir de fuentes de C renovables (como el que se produce en la combustión aerobia de alimentos en los animales), puesto que ese carbono fue fijado previamente por fotosíntesis a partir de  $\text{CO}_2$  atmosférico. También se contabiliza la conversión de  $\text{CO}_2$  en  $\text{CH}_4$  en procesos fermentativos microbianos, como los que ocurren en el aparato digestivo de los animales, en el suelo o en zonas pantanosas, puesto que, a igualdad de contenido en carbono, cada molécula de  $\text{CH}_4$  tiene un valor PRG 21 veces

superior al CO<sub>2</sub>, o la emisión de N<sub>2</sub>O desde el suelo a partir de compuestos nitrogenados (NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>) añadidos en forma de fertilizantes orgánicos (estiércol) o inorgánicos.

### 2.2.2. Ganadería y Ambiente

Los primeros usos ganaderos se establecieron respetando un equilibrio entre el ser humano, el ganado y el medio donde se realizaba su explotación. Esto fue así hasta la intrusión de la lógica capitalista en las formas de producir y de consumo. Hoy en día cada vez quedan menos explotaciones que no se guíen por esta lógica, es decir, que no busquen obtener un máximo beneficio económico, considerando la naturaleza y los animales como simples materias primas explotables para obtener la mayor rentabilidad y la máxima acumulación de capital.

La representación de las ideas capitalistas en la producción agrícola se encarna en el modelo de producción industrial o intensiva. El modo de producción que lleva asociado, pretende conseguir un producto homogéneo que cumpla con las exigencias del mercado, tanto en características como en cantidad. Para conseguir sus objetivos, el modo de producción intensivo se basa en el empleo de técnicas modernas como la selección genética, la explotación intensiva y el empleo de productos químicos para mejorar la producción. La apuesta por este tipo de explotación provocó, en la década de los años sesenta, la conocida como revolución verde, que aplicada en la ganadería se conoció como revolución ganadera. Este fenómeno trajo consigo un aumento extraordinario de la producción de alimentos, y junto a él se forjaron unas esperanzas muy optimistas en lo que podía representar el final del problema del hambre en el mundo. Sin embargo, pese a que se consiguieron objetivos como la competitividad, la adaptación al mercado mediante precios bajos o el enriquecimiento de las empresas transnacionales que invirtieron en este tipo de producción agraria, no se consiguió el principal cometido: eliminar el hambre. En relación con esto, muchos expertos están de acuerdo en que “la producción de alimentos para satisfacer a una población

mundial en crecimiento llevó en las últimas décadas a una agricultura y ganadería a gran escala, sin control y sin visión de las consecuencias negativas sobre el ambiente” (Gaudín, 2010).

### **2.2.3 Producción ganadera e impacto ambiental.**

El incremento de la producción animal puede tener efectos negativos en el medio ambiente si no se adoptan medidas que mantengan intactos los recursos naturales. Pese a que podría resultar paradójico, el sector ganadero puede llegar a generar más gases de efecto invernadero que el sector del transporte. Así de claro es un reciente informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), que reconoce además que se trata de una de las prácticas más estrechamente relacionadas con la degradación del suelo y de los recursos hídricos. Unos problemas que, de no adoptarse nuevas alternativas, continuarán en aumento atendiendo a los datos que muestran que cada año se consume más carne y productos lácteos y que para el año 2050 podrían llegarse a las 465 millones de toneladas de producción mundial de carne.

Inducida por una cada vez más creciente población, la demanda de productos alimentarios procedentes de la ganadería crece año tras año. Este incremento podría llegar a duplicarse en los próximos 20 años, con la consecuente necesidad de aumentar la producción animal, según el informe *Livestocks long shadow*, presentado recientemente por la FAO. Estas exigencias tienen también un elevado coste para el medio ambiente, ya que los expertos calculan que el ganado es responsable del 18% de las emisiones de gases que producen efecto invernadero. Todo ello sumado al hecho de que la ganadería “ocupa” actualmente el 30% de la superficie total del planeta, la mayoría de ella campos pero también cultivos. Para la FAO, el ganado es uno de los principales responsables de los graves problemas medioambientales actuales» y deben adoptarse medidas urgentes para hacer frente a esta situación.

La transformación en la producción de alimentos se refleja especialmente en el traslado de las prácticas ganaderas de las zonas rurales a las urbanas, donde se concentra cada vez más la superficie destinada a la producción de forrajes y el transporte y distribución de los piensos. El cambio se refleja también en la demanda de alimentos por parte de los consumidores, que apuestan sobre todo por productos porcinos y de aves de corral (aumenta el consumo de carne, leche y huevos), en detrimento de la producción de bovinos, ovinos y caprinos. Teniendo en cuenta que actualmente el 80% del crecimiento se da en sistemas industriales, no parece nada descabellado lo que propone la Iniciativa para la Ganadería, Medio ambiente y Desarrollo (LEAD, en sus siglas inglesas), que apuesta por mitigar los efectos negativos con nuevas tecnologías de producción. Y es que la producción agrícola intensiva, la que logra un equilibrio adecuado entre la intensificación de los cultivos y la cría de ganado, es compatible con una producción sostenible.

#### **2.2.4 Revolución ganadera y medio ambiente.**

Los cambios en la producción ganadera no son nuevos. Según datos del Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias (IFPRI, en sus siglas inglesas), el 26% de las calorías que se consumen en países desarrollados y el 56% de las proteínas derivan de productos de origen animal. Los expertos prevén que la producción mundial de carne se duplique desde los 229 millones de toneladas de 2001 hasta las 465 millones de toneladas en 2050, y que la producción lechera pase de 580 a 1.043 millones de toneladas. Actualmente, los animales de producción de carne y leche suponen ya el 20% de toda la biomasa animal terrestre que, unido a la presencia de ganado en grandes extensiones de tierra y la demanda de cultivos forrajeros, también contribuye a la pérdida de biodiversidad. Según un estudio sobre 24 tipos de ecosistemas, 15 de ellos se encuentran amenazados por esta causa.

Agua, biodiversidad y cultivos son algunos de los más perjudicados de estos cambios. En el caso de los recursos hídricos los efectos limitan el suministro

de agua, especialmente si se tiene en cuenta que se utiliza el 8% del agua que consume el ser humano, sobre todo a través del riego de los cultivos. Según el informe de la FAO, el sector ganadero es el principal productor de contaminantes del agua, que proceden sobre todo de los restos de animales, antibióticos, hormonas, fertilizantes y plaguicidas.

### **2.2.3 Producción de gas metano en rumiantes y su impacto ambiental.**

La agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y óxido nitroso  $\text{N}_2\text{O}$  a la atmósfera. El aumento de las concentraciones de estos gases provoca un calentamiento de la superficie terrestre y la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera (Primavesi *et al.*, 2004). Dentro de la gama de gases a los que se les atribuye efecto invernadero, se considera el  $\text{CO}_2$  el más abundante y el que actualmente tiene un mayor aporte al incremento del calentamiento global.

Hoy día las concentraciones de metano son inferiores a las de  $\text{CO}_2$ , sin embargo el primero, se está incrementando rápidamente y además posee un efecto 21-30 veces más contaminante con respecto al  $\text{CO}_2$ , considerándose que en el tiempo el metano pueda ser predominante. Las tasas de acumulación de metano y dióxido de carbono en la atmósfera han cambiado drásticamente en los últimos años presentándose un incremento de forma exponencial (Primavesi *et al.*, 2004).

### **2.2.4 Particularidades del Sistema Digestivo de Rumiantes y su Contribución a las Emisiones de Metano.**

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

Sin embargo por sus características innatas, este mismo sistema digestivo también produce metano, un potente gas con efecto invernadero que

contribuye con aproximadamente el 18% del calentamiento global ocasionado por actividades productivas con animales domésticos, superado sólo por el CO<sub>2</sub>.

La producción de metano en los últimos años ha tomado gran importancia en la producción animal debido a sus efectos negativos en el medio ambiente (Chandramoni *et al.*, 2000).

Otro aspecto de relevancia, es la eficiencia energética de los sustratos alimenticios fermentados en el rumen, la cual disminuye en proporciones variables dependiendo de las características de la dieta, debido a que las emisiones de gases, específicamente de metano, involucran pérdidas a través del eructo.

Johnson y Johnson (2000), señalan que el metano colabora en los efectos climáticos directamente, a través de su interacción con la energía infrarroja e indirectamente a través de las reacciones de oxidación atmosféricas que producen CO<sub>2</sub>. Por esto se considera que en la actualidad los sistemas de producción animal sostenibles deben propender por una menor producción de metano.

La manipulación de la dieta de los rumiantes se considera una alternativa viable para aminorar la producción de metano y a la par, 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. Los reportes en la literatura señalan que los sustratos de baja calidad que, generalmente están relacionados con bajo consumo debido a su baja tasa de pasaje, no sólo tienen efecto sobre bajos rendimientos por animal, sino que también involucran aspectos tan importantes como lo es el incremento de las emisiones de metano. El mejoramiento de las características nutricionales del forraje y la implementación de sistemas estratégicos de suplementación, como

la presencia de otros estratos vegetales en el ecosistema pastura, tipo sistemas silvopastoriles, pueden mejorar las características fermentativas a nivel ruminal, reflejándose en mayor productividad y generalmente en una disminución en las emisiones de metano.

### **2.2.5 Estrategias Nutricionales para Reducir La Emisión de Metano. Efectos de la dieta en la producción de metano y alternativas para disminuir sus emisiones.**

Hay evidencias que muestran que la tasa de emisión de metano, por fermentación entérica, se relaciona con el alimento consumido. También se señala que entre los factores que influyen en su producción están las características físicas y químicas del alimento, las cuales afectan directamente el nivel de consumo y la frecuencia de alimentación. Por tanto una subnutrición contribuye a incrementar los niveles de emisión de metano (Montenegro y Abarca, 2000). Diversos autores señalan que la energía no aprovechada debido a la producción y eliminación de gas metano se debe a muchos factores. Estos incluyen: cantidad y tipo de alimento, manipulación de la fermentación ruminal, adición de lípidos, tipo de carbohidrato en la dieta y procesamiento de los forrajes (Johnson y Johnson, 1995). Estos factores se convierten por tanto en factores alternativos para la disminución de la metanogénesis.

Los rumiantes contribuyen con aproximadamente 18 – 20% del CH<sub>4</sub> producido anualmente a nivel mundial y es una de las pocas fuentes de CH<sub>4</sub> que pueden ser reducidas a través de apropiadas estrategias alimenticias (Gibbs *et al.*, 1989). Metano es producto de fermentación anaeróbica de los alimentos a nivel ruminal y puede representar una pérdida de 2-12% de la energía bruta consumida (Jhonson y Jhonson, 1995). La mayoría de los rumiantes dependen del consumo de forraje que muchas veces es de pobre calidad limitando la disponibilidad de proteína microbial y energía e incrementado la emisión de CH<sub>4</sub> (Leng, 1993).

En este sentido diversos estudios han mostrado que cuando los animales consumen forraje de alta digestibilidad producen menos  $\text{CH}_4$  por unidad de producto terminado (leche, carne, etc.) que animales consumiendo forrajes de baja digestibilidad (Blaxter y Clapperton, 1965). Esto es debido a que alimentos con tasas lenta de degradación producen más  $\text{CH}_4$  que aquellos que se fermentan a tasas más rápidas (McCrabb, 2002).

En el Perú, la alta emisión de  $\text{CH}_4$  proveniente de ganado bajo sistemas al pastoreo es explicado por la pobre calidad del forraje (pasturas alto andinas) que en muchos casos limita los sistemas de producción debido a las condiciones medioambientales desfavorables y pobre manejo (Florez y Malpartida, 1998), los bajos consumos así como por la baja eficiencia de utilización de nutrientes para producir carne o leche. En ese sentido se han planteado algunas estrategias que ayudan a mejor utilización de los alimentos y por lo tanto a la reducción de la emisión de  $\text{CH}_4$  como son: mejora de la calidad de las pasturas (pastos cultivados, fertilización, etc.) incremento en uso de carbohidratos de alta fermentabilidad (granos, melaza), tratamiento físico de forrajes, tratamiento con urea y minerales a dietas de baja calidad (Ej. bloques de urea-melaza) y uso de compuestos modificadores del medio ambiente ruminal.

#### **2.2.6 Emisiones por ganadería lechera y su caracterización económica**

En un estudio de Gómez y Fernández (2009), realizaron evaluaciones con unidades ganaderas consideradas típicas de explotaciones lecheras en el Perú, siguiendo para su identificación la metodología descrita por IFCN – Dairy que comprende las siguientes fases: Identificación de regiones lecheras, identificación de unidades especializadas en producción lechera y selección de las unidades representativas. Para la

cuantificación de las emisiones de metano provenientes de fermentación entérica se evaluó con datos colectados el 2008 por visitas de campo y cuestionarios específicos a cinco hatos lecheros localizados en la costa y sierra del Perú. El hato PE-180 estuvo localizado en el valle de Cañete en Lima (50 m.s.n.m.); los hatos PE-15 y PE-6 estuvieron localizados en Cajamarca (2800 m.s.n.m.) y los hatos PE-1 y PE-4 localizados en la región Junín (3600 – 4400 m.s.n.m.). El sistema de producción en la Costa consideraba animales estabulados con alto uso de concentrado y maíz chala como principal fuente de forraje. Las unidades ganaderas localizados en la Sierra consideraban pastoreo en pastos cultivados rye grass/trébol (PE-15) y naturales (PE-6, PE-1 y PE-4) con limitado uso de concentrado. La metodología aplicada para realizar las estimaciones de metano fue la Tier-2 (IPCC). La información requerida para el uso de esta metodología como composición de la ración de los animales y nivel de producción fueron colectadas usando encuestas específicas aplicadas durante un año que incluyo los periodos de lluvia y seca en las respectivas regiones. Para realizar la evaluación económica de los hatos lecheros se utilizó la información proveniente de tres hatos lecheros (PE-180, PE-6 y PE-5) representativos de los sistemas de producción de la sierra y costa. La metodología utilizada fue la desarrollada por la International Farm Comparison Network la que se usa para evaluar competitividad lechera a nivel internacional (Hemme, 2008). Esto ha sido utilizado anteriormente para evaluar performance económica de hatos lecheros en Cajamarca (García y Gómez, 2006). Se evaluó finalmente de forma preliminar la relación entre emisiones de metano y performance económica. Los resultados de la emisión de metano proveniente de la ganadería lechera muestran diferencias entre sistemas productivos siendo que los animales en pastoreo producen menos metano que los animales estabulados. Sin embargo, cuando la producción de leche es considerada las vacas en producción bajo sistema estabulado producen 0.015 – 0.02 kg metano/kg de leche lo cual

es más bajo que las emisiones provenientes de animales bajo el sistema de pastoreo que producen 0.03-0.13 kg de metano /kg de leche, correspondiéndole el más alto valor a los animales bajo pastos naturales. Considerando las emisiones totales de metano (animales en producción y recría) en relación a producción de leche por hato, los sistemas de producción pastoriles son menos favorables por kilo de leche que los sistemas estabulados. Se puede concluir que las altas emisiones de metano en los andes son debidos principalmente a la pobre calidad del forraje (alto contenido de fibra y bajo en nitrógeno) debido a que existe oportunidad con el genotipo actual para incrementar productividad tal como ha sido demostrado recientemente (Bartl *et al.*, 2008). En contraste dietas de la costa (PE-180) tienen bajo contenido de fibra y alta tasa de digestión produciendo menos emisión de metano por unidad de leche producida. Diversas técnicas ganaderas pueden contribuir a mejorar la producción de forraje o su utilización, permitiendo mayor producción de leche con menor emisión de metano en zonas pastoriles. Estas estrategias incluyen mejora de la calidad de la pastura (fertilización, genotipos mejorados, pastoreo rotacional), tratamiento de residuos agrícolas (Ej. Pajas de cereales) o suplementación estratégica (Minerales o bloques melaza-urea) así como el uso de modificadores ruminales. Estas son una mezcla de alternativas de mitigación y adaptación. Los resultados de la evaluación económica muestran que los hatos lecheros localizados en la costa tienen un alto costo de producción de leche pero con alto margen de ganancias. Por otro lado este sistema de producción lechera al utilizar mejor calidad de alimento (concentrado y forraje de calidad) genera menores emisiones de metano. En el caso de explotaciones pastoriles al mejorarse su productividad se tiene ambos beneficios los económicos (mejora en rentabilidad) y ambientales al reducirse las emisiones de metano. Esto presenta un excelente panorama para utilizando mecanismos de desarrollo limpio (MDL) y fuentes de financiamiento por bonos de carbono del mercado principalmente

voluntario se pueda implementar proyectos de desarrollo rural en zonas andinas.

De acuerdo a estos resultados la disponibilidad limitada de forrajes de calidad especialmente durante la estación seca es el principal factor limitante para los sistemas ganaderos en los andes del Perú. Se han realizado trabajos de investigación utilizando modelos matemáticos (Bartl *et al.*, 2009) para determinar el mejor escenario para los sistemas de producción lechera de ganaderos provenientes comunidades rurales con alta (PE-4) y baja (PE-1) dependencia del ingreso proveniente de la ganadería. En dicho modelo, la estrategia de mejor calidad de forraje durante la época seca determino que los ingresos anuales de los ganaderos se incrementara de -21 a 127 (baja dependencia) y de 1057 a 1257 US\$ / ganadero (alta dependencia). Este incremento fue debido a un mayor número de animales y mayor producción de leche causado por la mejoras en la alimentación. Los resultados del modelo mostraron que la mejor estrategia de desarrollo depende de varios factores tales como costo de producción, el acceso al mercado, irrigación y la disponibilidad de diferentes recursos alimenticios. Respecto a estimación del impacto del cambio climático sobre la ganadería, el mayor efecto ocurre en ganadería pastoril tanto por ser mayor la proporción del total nacional como por la magnitud del impacto que será más severo (reducción del 3% en intensivo y 6% en pastoril). Debe destacarse la naturaleza provisional de estas estimaciones por carecerse de estudios de caso específicos para el Perú. Los efectos indirectos (disponibilidad de forraje) serán los más importantes económicamente y la producción ganadera cárnica representará el mayor impacto económico seguido muy cercanamente por la producción lechera. El uso de estrategias apropiadas de mejora de la alimentación (principalmente de forraje) del ganado incrementaría el nivel productivo de los animales, mejorarían los ingresos de los ganaderos y reducirá las emisiones de metano por unidad

de producto generado. Adicionalmente se debe señalar la importancia que tendría dicho manejo racional de zonas pastoriles en los Andes por su servicio ambiental como regulador hídrico y beneficios asociados a seguridad alimentaria así como control sobre riesgo y vulnerabilidad.

Se puede indicar entonces que el impacto climático desfavorable sobre la producción ganadera añade un nuevo reto para los esfuerzos que promueven el desarrollo rural. Sin embargo, un enfoque integrado debería ser tomado en cuenta por gobiernos o formadores de opinión para desarrollar políticas que contribuyan a un incremento en la productividad ganadera en una forma sostenible en el tiempo considerando políticas públicas y privadas de origen estatal y regional (Gómez y Fernández, 2009).

### **3. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.**

#### **3.1. Factores de emisión para metano por fermentación entérica y de óxido nítrico desde los suelos agropecuarios utilizables en métodos de nivel 2 del IPCC.**

Pilar Irisarri. 2009. INIA – Uruguay.

El inventario 2002 para Uruguay fue realizado siguiendo las pautas de la “Guía revisada” (IPCC, 1996), la Guía de buenas prácticas del IPCC y la de Buenas prácticas para LULUCF. Las emisiones netas de metano en el país fueron 14446 kton equiv CO<sub>2</sub> (100 años) y el 85% provienen de fermentación entérica, mientras que de las 9697 kton equiv CO<sub>2</sub> de N<sub>2</sub>O 92 % provienen de suelos bajo pastoreo (excreta de animales). El sector agricultura constituye por lo tanto, una fuente importante de emisiones en Uruguay.

#### **3.2 Influencia de la ganadería argentina: Emisión de Gases de Efecto Invernadero.**

Berra y Finster. (2005) INTA – Castelar. Argentina.

La producción de metano es parte de los procesos digestivos normales de los animales, durante la digestión, los microorganismos presentes en el aparato digestivo fermentan el alimento consumido por el animal. Este proceso conocido como fermentación entérica, produce metano como un subproducto, que puede ser exhalado o eructado por el animal. Entre las especies ganaderas, los rumiantes (bovinos, ovinos, caprinos, búfalos, camélidos) son los principales emisores de metano. De acuerdo a las estimaciones realizadas en la República Argentina, en 1997, las emisiones de metano fueron de 98,678 Tn., 4,7 % inferiores a las de 1990 y 17,3 % inferiores a las de 1994.

### **3.3 Estimación de las Emisiones de los Rumiantes en España: El Factor de Conversión de Metano.**

Cambra-López *et al.* 2008. España.

En España, la contribución de la ganadería a las emisiones de CH<sub>4</sub> supera el 35%, de las cuales el 60% son debidas al ganado bovino (UNFCC, 2007). Debido al rápido aumento de las concentraciones atmosféricas de este gas durante los últimos años, así como a los efectos que el CH<sub>4</sub> ejerce sobre el clima y sobre la química atmosférica, las emisiones deben controlarse y reducirse. El Protocolo Internacional de Kioto (1997) establece límites para los distintos gases de efecto invernadero, así como el compromiso de los países desarrollados a evaluar y cuantificar las concentraciones de estos gases y a desarrollar técnicas para reducirlos. En España, como en los demás países que han ratificado el Protocolo de Kioto, las emisiones se cuantifican obligatoriamente en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, siguiendo las directrices que propone el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Estas directrices proponen unas metodologías consensuadas para calcular las emisiones de cada país. Se trata de una herramienta muy útil que permite obtener datos de emisiones comparables entre países y en los que se basa

posteriormente la verificación del cumplimiento de la legislación ambiental (Protocolo de Kioto). España, bajo el Protocolo de Kioto, adquirió el compromiso de no aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero

### **3.4. Contribución de los Rumiantes a las Emisiones de Gases con Efecto Invernadero. El caso de España.**

C. de Blas, P. García-Rebollar, M. Cambra-López y A.G. Torres. 2008. España

La producción ganadera contribuye en España en una proporción relevante (pero limitada) al total de emisiones de gases con efecto invernadero: del orden de un 5% del total en CO<sub>2</sub> equivalente. La contaminación más importante se debe a la liberación de metano, que se produce como resultado bien directamente de la fermentación entérica del alimento, bien indirectamente de la fermentación del estiércol. Los rumiantes son los principales responsables de la emisión directa de metano (alrededor de un 3% de las emisiones totales en España). Numerosos factores ligados al tipo de animal y a su alimentación modifican la producción de metano en rumiantes, que llega a oscilar entre un 2 y un 10% de la EB ingerida en la bibliografía consultada. Los resultados obtenidos en trabajos recientes muestran que una alimentación más concentrada (almidón, grasa), así como el uso de algunos aditivos, contribuye a disminuir las pérdidas en valor absoluto y que un incremento del nivel de producción reduce adicionalmente las emisiones si éstas se expresan en relación a la cantidad de producto (leche, carne) obtenido.

### **3.5. Estimación de la Emisión de Gases de Efecto Invernadero en el Municipio de Montería, (Córdoba, Colombia).**

Echeverri L., C. 2006.

En este trabajo se presenta la primera versión del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero para el año de 2005 en el municipio de Montería (Córdoba, Colombia). Este inventario incluye las emisiones provenientes de los vehículos automotores, los rellenos sanitarios y las fuentes biogénicas.

No se tuvieron en cuenta las fuentes puntuales por ser estas muy escasas en la zona de estudio y generar contaminantes diferentes a los gases de efecto invernadero.

Los estimativos que aquí se presentan no corresponden a valores absolutos; las cifras son el producto de métodos indirectos de cálculo, que deben ser interpretados como indicadores de las cantidades realmente emitidas. Se presentan con el fin de ilustrar el orden de magnitud en que pueden estar las descargas al ambiente y las principales actividades que las producen.

### **3.6. Sobre los subsistemas input-output en el análisis de emisiones contaminantes. Una aplicación a las emisiones de CH<sub>4</sub> en Cataluña.**

Navarro, F. y V. Alcántara. 2009.

En el presente trabajo se desarrolla un estudio de las emisiones de CH<sub>4</sub> relacionadas con el sector agroalimentario catalán a través de un análisis alternativo, o al menos complementario, de subsistemas input-output. Una herramienta de gran utilidad para estudiar la estructura productiva de los diferentes sectores que componen una economía. La aplicación de esta técnica permite la descomposición del subsistema en distintos efectos en función de los vínculos intersectoriales existentes con el conjunto de las ramas productivas de la economía, dentro y fuera del subsistema. De los resultados obtenidos destaca la importancia de las relaciones intrasectoriales del subsistema agroalimentario, que muestra una relevante autonomía en cuanto a este tipo de emisiones respecto al resto de la economía. Esta característica orienta el tipo de políticas medioambientales a implementar con el objetivo de reducir el impacto atmosférico de dicha actividad.

### **3.7. Ganadería y Cambio Climático: una Influencia Recíproca.**

Lorente Saiz, A. 2010. Universidad de Alicante (España)

La preocupación por el deterioro ambiental y por el cambio climático son temas que están muy de actualidad. Esta reflexión aproxima al lector a las

interrelaciones que se establecen entre la producción ganadera y el medio físico. La situación de la ganadería actual viene dada por el sistema económico-productivo actual. Un sistema básicamente injusto e insostenible que rige las actividades humanas a escala mundial. En este sentido, tanto el deterioro ambiental como el actual calentamiento global son una de las consecuencias negativas del desarrollo de estas actividades humanas, que están llevando al planeta a su límite. En estas consecuencias ambientales, el sector agropecuario, relacionado con los procesos de elaboración, distribución y consumo, tiene un papel principal en el que contribuye, a la vez que se ve perjudicado, tanto directa como indirectamente.

### **3.8. Emisión de Metano y Sistemas de Producción Animal en el Perú: Implicancias Nutricionales.**

Fernández, M.; García M. y Carlos Gómez. 2010. Perú.

En el Perú la emisión de gases que contribuyen con el efecto invernadero proveniente de fuentes antropógenas para el año 1994 fue de 720 megatoneladas de equivalente de dióxido de carbono (metodología Nivel-1 del IPCC). Sin embargo, al realizar la actualización de esta información para el año 2006 la producción de CH<sub>4</sub> proveniente de diferentes sistemas de producción animal fue de 472 Gg que representa un incremento de 25% respecto al año 1994. Metano proveniente de fermentación entérica y de estiércol fueron los principales contribuyentes. El ganado vacuno es el mayor contribuyente (64%) al total de emisión de CH<sub>4</sub> en el país. En el Perú, la alta emisión de CH<sub>4</sub> proveniente principalmente de ganado bajo sistemas al pastoreo es explicado por la pobre calidad del forraje (pasturas nativas alto andinas), bajos consumos así como por la baja eficiencia de utilización de nutrientes para producir carne ó leche. Algunas estrategias que ayudan a mejor utilización de los alimentos y por lo tanto a la reducción de la emisión de CH<sub>4</sub> incluyen: mejora de la calidad de las pasturas, incremento en uso de carbohidratos de alta fermentabilidad, tratamiento físico- químico de forrajes y uso de compuestos modificadores del medio ambiente ruminal.

### **3.9. Impacto del cambio climático sobre la ganadería en el Perú.**

**Gómez, C. 2011.**

Este autor menciona que se debe considerar que la mayor fuente de emisión por parte de ganadería corresponde a la fermentación entérica y al material fecal, representando el 8.6% de la emisión total del país. Dicho autor halló que el mayor efecto ocurre en ganadería pastoril tanto por ser mayor la proporción del total nacional como por la magnitud del impacto que será más severo (reducción del 3% en intensivo y 6% en pastoril). El tamaño de las unidades ganaderas al pastoreo es de 5.3 vacunos, los cuales serán los más afectados observándose este sistema principalmente en la sierra.

Los resultados de la emisión de metano proveniente de la ganadería lechera muestran que animales en pastoreo producen menos metano que los animales estabulados. Sin embargo, cuando la producción de leche es considerada, las vacas en producción bajo sistema estabulado producen 0.015 – 0.02 kg metano /kg de leche lo cual es más bajo que las emisiones provenientes de animales al pastoreo (0.03-0.13 Kg. De metano /Kg. De leche), correspondiéndole el más alto valor a los animales bajo pastos naturales.

Considerando las emisiones totales de metano (animales en producción y recría) en relación a producción de leche por hato, los sistemas de producción pastoriles son menos favorables por kilo de leche que los sistemas estabulados.

### **3.10. Estimación del factor de emisión de metano, bajo diferentes sistemas de alimentación y fases del ciclo gestación-lactancia de la vaca lechera, en la Irrigación Majes -2011.** Obando, A. 2011.

En esta investigación se desarrolló un estudio con el objetivo de estimar el factor de emisión de metano (CH<sub>4</sub>), originado por la ganadería lechera bajo diferentes sistemas de alimentación en la irrigación Majes - 2011. Para tal efecto, en 24 hatos lecheros se recopiló información relacionada a dos sistemas de

alimentación (12 hatos con sistema intensivo y 12 hatos con sistema mixto), y en dos fases de producción láctea (fase 1 y fase 2); asimismo, se determinó la composición de la dieta, composición del hato y la producción de leche (Kg.). Para estimar el factor de emisión se utilizó la metodología del Nivel 2 (Tier 2) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), entidad oficial que regula las metodologías a nivel mundial para estimar la emisión de gases de efecto invernadero, en dicha metodología se utilizaron series de ecuaciones para determinar la partición de la energía, sumada a constantes proveías por el NRC Dairy (2001). Para el análisis de la información, los datos generados se procesaron mediante el programa SPSS V.18 (2010) para determinar la normalidad y la homogeneidad de varianzas, ambas pruebas no presentaron diferencias. Posteriormente se analizó la información mediante un análisis de varianza factorial 2 X 2 (dos sistemas y dos fases de producción) utilizando el programa SAS V.9 (2003). Se halló que la producción de metano (Kg. CH<sub>4</sub>/cabeza/año), en el sistema de producción intensivo fue de 141.138 Kg. valor superior al hallado en el sistema mixto donde se encontró un valor de 125.608 Kg. estos valores denotaron diferencia estadística significativa ( $P < 0,05$ ); asimismo, al analizar el efecto de la fase de producción, se encontró que la primera fase produce más metano (151.39 Kg.) en comparación a la segunda fase (115.356 Kg.), ambos promedios presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ). Considerando la relación entre la producción de metano y la producción de leche, se determinó que existe una relación inversa entre la producción de leche y la de metano, hallándose valores de 0.023239 Kg. de metano por cada kg de leche producido en el sistema intensivo y de 0.0173426 Kg. en el sistema intensivo, ambos valores presentan diferencia estadística ( $P < 0,05$ ), Los valores encontrados estarían relacionado directamente a la digestibilidad de la dieta y consecuentemente a un uso más eficiente de la energía en los sistemas intensivos. Los datos obtenidos son similares a reportes previos realizados en el país, bajo análogas condiciones climatológicas y de manejo en general.

#### 4. OBJETIVOS

- Relacionar el factor de emisión del CH<sub>4</sub> entérico con la composición nutricional de la ración en vacunos lecheros bajo el sistema intensivo en la irrigación Majes – Arequipa.
- Relacionar el factor de emisión del CH<sub>4</sub> entérico con la composición nutricional de la ración en vacunos lecheros bajo el sistema mixto en la irrigación Majes – Arequipa.
- Determinar si existe diferencias entre el factor de emisión del CH<sub>4</sub> entérico con la composición nutricional de la ración en vacunos lecheros entre el sistema intensivo y mixto en la irrigación Majes – Arequipa.

#### 5. HIPÓTESIS

Dado que investigaciones en otras localizaciones han determinado que la emisión de metano se regula por la calidad y cantidad del alimento suministrado, es probable que bajo las condiciones de la irrigación Majes sea posible relacionar la emisión de metano originada por la ganadería lechera en sistemas intensivos y mixtos, con la composición de la ración.

### III PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

#### 1. Técnicas e instrumentos de verificación.

##### 1.1. Técnicas

Observación de Campo

##### 1.2. Procedimiento.

- **Caracterización productiva de los sistemas de alimentación utilizados en la ganadería lechera de la Irrigación Majes.**

##### **Población de vacunos en cada sistema**

Para tal efecto se realizará una caracterización de la población de vacunos en base a la información proporcionada por la Dirección de Desarrollo Rural de

la Autoridad Autónoma de Majes (AUTODEMA), e información recabada en fuentes bibliográficas actualizadas.

Posteriormente la información disponible será sistematizada y permitirá conocer la población de vacunos diferenciada por tipo de sistema de alimentación y composición del hato, en términos de animales en producción, seca o crecimiento.

Para fines del presente estudio sólo se utilizará información relevante a animales en producción (Ver instrumento).

- **Características y composición de la ración**

Para determinar las características de la ración se recopilará información desarrollada por investigaciones precedentes, así como información de fuentes locales.

Esta información permitirá determinar el consumo de cada componente de la ración (Pastoreo de Alfalfa, Consumo Ensilado y Concentrado), de acuerdo al instrumento redactado para el presente estudio.

- **Determinación de la composición de la ración en cada sistema.**

La determinación de la composición de la ración en cada sistema bajo estudio, se realizará mediante un software de balanceo de ración, utilizando la información de la caracterización de dietas en sistemas intensivos y mixtos realizada por Obando (2011), donde se determinó los siguientes nutrientes y parámetros nutricionales:

Proteína cruda, Proteína sobrepasante, Proteína degradable, Energía neta de lactancia (ENL), Nutrientes digestibles totales (NDT), Fibra cruda, Fibra detergente neutro, Fibra detergente ácido y Porcentaje de digestibilidad de la ración.

- **Estimación del Factor de Emisión de Metano en cada sistema de alimentación**

Para esta estimación se utilizará el modelo propuesto por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC., 2006)

$$FE = \frac{EB \times Ym \times 365 \text{ días/año}}{55.65 \text{ MJ/ Kg. de metano}}$$

Donde:

FE: Factor de emisión de metano (Kg. CH<sub>4</sub>/cabeza/año)

EB: Energía bruta de los recursos alimenticios dentro de cada sistema de alimentación

Ym: factor de conversión de metano, expresado como la fracción de Energía bruta del alimento que se transforma en metano.

**1.3. Instrumento**

**FICHA DE REGISTRO DE HATO LECHERO**

PROPIETARIO	
UBICACIÓN	
SISTEMA	
FECHA DE COLECCIÓN DE DATOS	

**COMPOSICIÓN DEL HATO**

	Número	Peso
Vacas en Producción		
<b>COMPOSICIÓN DE LA RACIÓN (KG MS/VACA/DÍA)</b>		
Composición	Consumo (kg/MS)	
Consumo de Alfalfa		
Consumo Ensilado		
Consumo de otros forrajes		
Concentrado		
Insumos de Concentrado		
■		
RESPONSABLE		

#### 1.4. Equipos y Materiales

- Equipo portátil de cómputo
- Hoja de encuesta (Instrumento)
- Software de Base de datos
- Tablas de composición químico nutricional
- Software de análisis de datos
- Material de escritorio

## 2. Campos de Verificación

### 2.1. Ubicación espacial

El presente trabajo de investigación se llevará a cabo en la Irrigación Majes, Distrito de Majes, Provincia de Caylloma, Departamento de Arequipa.

Límites:

Noroeste : Provincia de Caylloma

Oeste : Huancarqui y Uraca, Provincia de Castilla.

Suroeste : Nicolás de Piérola y Quilca, Provincia de Camaná.

Se encuentra a una altitud de 1434 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 16.1 °C con una variabilidad de 8.2 °C a 24 °C., Humedad Relativa > 40% y < 70%, y con una precipitación de 0.7 mm.

	Latitud:	Longitud:
Norte	16° 02' 50''	72° 16' 09''
Sur	16° 39' 20''	72° 33' 01''
Este	16° 16' 06''	72° 04' 10''
Oeste	16° 39' 12''	72° 38' 51''

Fuente: SENAMHI (2002).

## 2.2. Ubicación temporal

El estudio se desarrollará durante los meses de Julio a Agosto del año 2014.

## 2.3. Unidades de estudio

Considerando la naturaleza descriptiva y situacional del estudio, no se considerará un tamaño de muestra específico. Se tomará en cuenta cada hato lechero como unidad experimental (10 hatos en cada sistema de alimentación), en base al enunciado de Calzada (1970). Los criterios de exclusión - inclusión para cada hato se realizarán en base a la caracterización de su sistema de alimentación.

## 3. Estrategia de recolección de datos

Los datos serán colectados de acuerdo al Instrumento diseñado para el presente estudio y comprenderá a 10 hatos lecheros diferenciados por cada sistema de alimentación, estos hatos serán elegidos dentro de la Irrigación Majes, y de acuerdo a la caracterización del sistema de alimentación en cada hato seleccionado, en base a la información levantada por Obando (2011). Los hatos que serán considerados estarán situados en las secciones A, B y E.

La validación del instrumento se realizará mediante una entrevista personal con el propietario y/o encargado de la dirección del hato preseleccionado.

Luego de la selección de cada hato se aplicará el instrumento; asimismo, se estimará el consumo de cada uno de los componentes de la dieta diaria de los animales y se alimentará la base de datos con cada nutriente y parámetro estimado. Posteriormente se aplicará el modelo diseñado para estimar la emisión de CH<sub>4</sub> entérico (ver Anexo 1), por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2006), finalmente se relacionará la emisión de metano entérico con la composición de la ración en cada uno de los sistemas evaluados.

#### 4. Procesamiento de la información y determinación de la relación.

Una vez estimada la emisión entérica de CH<sub>4</sub> y la composición de la ración, se aplicará un modelo matemático, organizado en una regresión lineal múltiple donde se considerará como variable dependiente la estimación de CH<sub>4</sub> y como variables explicativas la composición diferenciada por tipo de nutrientes (proteína, energía neta de lactancia, nutrientes digestibles totales, fuentes de fibra dietética y digestibilidad).

De acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_k \cdot x_k + \mu$$

Donde:

y= tipo de nutrientes (proteína, energía neta de lactancia, nutrientes digestibles totales, fuentes de fibra dietética y digestibilidad).

b = coeficientes que indican el incremento en la respectiva variable dependiente por el incremento unitario de un tipo de nutriente en particular (proteína, energía, etc.)

X: variable explicativa de un tipo de nutriente en particular (proteína, energía, etc.)

μ= media general.

Asimismo, para cumplir con la hipótesis de regresión se calculará que exista, Linealidad, homocedasticidad, independencia y normalidad.

Para determinar la bondad de ajuste del modelo se utilizará el valor del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de acuerdo a la siguiente tabla (Rojo, 2007):

Menor de 0.3	0.3 a 0.4	0.4 a 0.5	0.5 a 0.85	Mayor de 0.85
Muy bajo	Bajo	Regular	Bueno	Alto

Fuente: Rojo (2007).

El proceso de la información se realizará con el procedimiento REG del software SAS V9.0 (SAS, 2002).

#### IV CRONOGRAMA DE TRABAJO

Actividades/Mes	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
Revisión Bibliográfica				
Recopilación de la Información				
Análisis de la información				
Elaboración de Borrador				
Sustentación				

#### V BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

##### 5.1. Bibliografía

1. EPA (Environmental Protection Agency). 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 greenhouse gas emissions: 1990- 2020. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 274.
2. EPA (Environmental Protection Agency). 2010. Animal Feeding Operations- Laws, Regulations, Policies and Guidance. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 15.
3. Hemme T. 2008. IFCN Dairy Report. International Farm Comparison Network. IFCN Dairy Research Center. Kiel, Germany.
4. Florez, A. y Malpartida E. 1998. Manual de Pastos y Forrajes. Banco Agrario .Lima. Perú.
5. Gibbs, M. J., Lewis, L., and Hoffman, J. S. 1989. Reducing Methane Emissions from Livestock: Opportunities and Issues. p. 284 (U.S. Environmental Protection Agency: Washington, D.C.)
6. IPCC. 2006. IPCC Guidelines for nacional greenhouse gas inventories. Volume 4. Agriculture, forestry and land use. IGES.Kanagawa, Japón. Chapter 10. p. 10.1-10.87.
7. IPCC. 2001. Climate change 2001: The scientific basis. In: J.T. Houghton *et al.* (Eds.).Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. Ginebra. 944 p.
8. IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 4. Agriculture. IPPC/OECD/IEA. Paris. 140 p.
9. Khalil, M.A.K. 2000. Atmospheric methane: An introduction. In: M.A.K. Khalil (Ed.) Atmospheric methane, its role in the global environment. Springer-Verlag. Berlín. p. 1-8.

10. Miner, J. R., F. J. Humenik, and M. R. Overchash. 2000. Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. Environmental Quality. Iowa State Univertisy Press. Ames, IA, USA. pp: 318.
11. McCrabb, G. J. 2002. Nutritional options for abatement of methane emissions from beef and dairy systems in Australia. Pages 115-124 in Greenhouse Gases and Animal Agriculture. Takahashi, J., and B. A. Young, (Eds.). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
12. Montenegro J, Abarca S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. Ed Nuestra Tierra. 334 p.
13. National Council for Agricultural Education. 1998. Global climate change and environmental stewardship by ruminant livestock producers. Student reference. Agricultural Education and University of Missouri.
14. Neely, C., Bunning, S. and Wilkes, A. 2009. Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change. Implications and opportunities for mitigation and adaptation. Land and Water Discussion Paper 8. FAO. Roma, Italia.
15. Peña, P.M. 1992. Explotación de Pastos y Forrajes. Tomo 2. Ediciones ISCAH, La Habana, Cuba.
16. Primavesi O, Shiraishi FRT, Dos Santos PM, Aparecida de LM, Teresinha BT y Franklin BP. 2004. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. Pesquisa Agropecu Bras;39(3):277-283.
17. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre el cambio climático. 1998. Naciones Unidas.
18. Solomon, S.D., Qin, M., Manning, R.B., Alley, T., Berntsen, N.L., Bindoff, Z., Chen, A., Chidtahisong, J.M., Gregory, G.C., Hegerl, M., Heimann, B., Hewitson, B.J., Hoskins, F., Joos, J., Jouzel, V., Kattsov, U., Lohmann, T., Matsuno M., Molina, N., Nicholls, J., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, J., Ren, M., Rusticucci, R., Somerville, T.F., Stocker, P., Whetton, R.A., and Wratt, D. 2007. Technical Summary. In: Solomon, S., Quin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, K.B., Averyt, M. and Miller, H.L. (Eds.). Climataate Changue 2007: The Physical Science Basis. Contributioon of Working Group I to the 4<sup>th</sup> Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Changue. Cambridge University. Press. Cambridge, UK.
19. Takahashi, J. 2002. Nutritional manipulation of methane emission from ruminants. In: J. Takashi *et al.* (Eds.). Greenhouse gases and animal agriculture. Proceedings of the 1st International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture. Obihiro. Japan. Elsevier. Holanda. p. 95-103.
20. United Nations (UN). 1998. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. UN. pp: 20.

21. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). 1999. The Gothenburg protocol to abate acidification, eutrophication and ground-level Ozone. UNECE, Sweden.pp: 65.
22. Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2º Ed. Comstock. Cornell University Press. 476 pp.
23. Velthof, G.L. and Oenema, O. (1995) Nitrous oxide fluxes from grassland in The Netherlands: II. Effects of soil type, nitrogen fertiliser application and grazing. European Journal of Soil Science 46, 541–549.

## 5.2. Hemerografía.

1. Aguilera, J.F. y C. Prieto. 1991. Methane production in goats given diets based on lucerne hay and barley. Arch. Anim. Nutr., 41: 77-84.
2. Anderson, K.L., T.G. Nagaraja, J.L. Morrill, T.B. Avery, S.J. Galitzer y J.E. Boyer. 1987. Ruminant microbial development in conventionally or early-weaned calves. J. Anim. Sci., 64: 1215-1226
3. Attwood, G. and McSweeney, C. 2008. Methanogen genomics to discover targets for methane mitigation technologies and options for alternative H<sub>2</sub> utilization in the rumen. Aust J Exp Agri, 48: 28-37.
4. Beauchemin, K.A., Kreuzer, M., O'mara, F. and McAllister, T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. Aust J Exp Agri, 48: 21-27.
5. Bernal, J. L. 1993. Caracterización de la Ganadería Lechera del Sur I. Arequipa (El Cural, la Joya, La Cano, San Isidro, San Camilo, Yuramayo, Santa Rita y Majes) Tesis del Ing. Zootecnista; Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
6. Bartl K., A. Mayer, C. Gómez, E. Muñoz, H.D Hess. And F. Holmann. 2009. Economic evaluation of the current and alternative dual-purpose cattle systems for smallholder farms in the central Peruvian highlands. Aceptado en Agricultural Systems
7. Berra, G. y L. Finster. 2005. Influencia de la ganadería argentina: Emisión de Gases de Efecto Invernadero. Boletín INTA – Castelar. Argentina.
8. Blaxter, K.L. y J.L. Clapperton. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. Brit. J. Nutr., 19: 511-522.
9. Boadi D, Benchaar C, Chiquette J and Massé D. 2004. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. Can J Anim Sci ;84(3):1918-1825.
10. Buddle, B.M., Denis, M., Attwood, G.T., Altermann, E., Janssen, P.H., Ronimus, R.S., Pinares-Patiño, C.S., Muetzel, S. and Wedlock, D.N. 2011.

- Review: Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pastures. *The Vet J*, 188: 11-17.
11. Carmona, J., Bolívar, D. y L. Giraldo. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Rev Col Cienc Pec Vol.* 18:1.
  12. Cambra-López, M., P. García Rebollar, F. Estellés y A. Torres. 2008. Estimación de Las Emisiones De Los Rumiantes En España: El Factor De Conversión de Metano. *Arch. Zootec.* 57 (R): 89-101.
  13. Cigarán, M.P. y J. García. 2006. Cambio climático en el Perú: variable a considerar para el desarrollo. *Tecnología y Desarrollo. Revista Latinoamericana.* Número 7.
  14. Crutzen, P.J., I. Aselmann y W. Seiler. 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus*, 38 (B): 271-284.
  15. Chandramoni SB, Jadhao CM, Tiwari CM, Khan MY. Energy metabolism with Particular reference to methane production in Muzaffarnagari sheep fed rations in roughage to concentrate ratio. *Animal Feed Science and Technology*, 2000; 83: 287- 300
  16. Chatellier, V., Verite, R. 2003. *INRA Productions Animales*, 16, 231-249.
  17. Chavez, A.V., Thompson, L.C., Iwaasa, A.D., Scott, S.L., Olson, M.E., Benchaar, C., Veira, D.M. and McAllister, T.A. 2006. Effect of pasture type (alfalfa vs grass) on methane and carbon dioxide production by yearling beef heifers. *Can J Anim Sci*, 86: 409-418.
  18. Clark, H., Pinares-Patiño, C. and De Klein, C. 2005. Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. In: McGilloway, D.A. *Grassland: A global resource.* Academic Publishers. Wageningen, The Netherlands. pp. 279-293.
  19. DE (Department of the Environment). 2011. Canadian Environmental Protection Act, 1999. *Gazette* 145(27): 2005-2188.
  20. De Blas, C., P. García-Rebollar, M. Cambra-López y A.G. Torres. 2008. Contribución de los Rumiantes a las Emisiones de Gases con Efecto Invernadero. XXIV Curso de Especialización FEDNA. Madrid, 23 y 24 de Octubre de 2008
  21. De Klein, C.A.M., Pinares-Patiño, C. and Waghorn, G.C. 2008. Greenhouse gas emissions. In: *Environmental impacts of pasture-based farming.* McDowell RW. CAB International. London, UK. pp. 1-32.
  22. De Klein, C.A.M., Sherlock, R.R., Cameron, K.C. and van der Weerden, T.J. (2001). Nitrous oxide emissions from agricultural soils in New Zealand – A review of current knowledge ad directions for future research. *Journal of the Royal Society of New Zealand* 31, 543–574.

23. Eckard, R.J., Grainger, C. and De Klein, C.A.M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livest Sci*, 130: 47-56.
24. Echeverri Londoño, C. 2006. Estimación De La Emisión De Gases De Efecto Invernadero En El Municipio De Montería, (Córdoba, Colombia). *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*, julio-diciembre, año/vol. 5, número 009
25. Ellis, J.L., Dijkstra, J., France, J., Parson, A.J.,
26. Edwards, G.R., Rasmussen, S., Kebreab, E. and Bannink, A. 2012. Effect of high-sugargrasses on methane emissions simulated using a dynamic model. *J Dairy Sci*, 95: 272-285.
27. Espinoza. M. 2007. Efecto del suplemento energético en la dieta sobre la dinámica del nitrógeno en vacas lecheras Holstein Friesian de la Irrigación Majes, Arequipa. Tesis FMVZ – UNA – Puno.
28. Ewan R.C. 1989. En: *Energy Metabolism of Farm Animals*. (Eds: Y. van der Honing and W.H. Close). Pudoc, Wageningen, pp. 215-218.
29. Fernández, M.; García M. y Carlos Gómez. 2010. Emisión de Metano y Sistemas de Producción Animal en el Perú: Implicancias Nutricionales.
30. Funes, F. 2000. Integración Ganadería Agricultura con Bases Agro ecológicas. Edición DECAD, Ciudad de la Habana – Cuba.
31. García O, y Gómez, C. 2006. The economics of milk production in Cajamarca. PPLPI Working paper N-34. FAO
32. Gaudín G. 2010. Agricultura a gran escala afectan equilibrio ecológico. *Noticias Aliadas. Cambio climático: Seguridad Alimentaria, agua & protección de bosques*. Buenos Aires – Argentina.
33. Gómez, C. 2011. Resúmenes del Simposio Internacional de Ganadería y Cambio Climático. UNALM. Lima, 14 de Julio de 2011.
34. Gómez C. y M. Fernández. 2009. “Análisis comparativo de las emisiones de metano y efecto del cambio climático sobre la ganadería en el Perú”. IN: “Los impactos del cambio climático sobre el agua y el manejo de los recursos naturales”. SEPIA XIII. Cusco, 10 al 13 de agosto.
35. Hammond, K.J., Hoskin, S.O., Burke, J.L., Waghorn, G.C., Koolaard, J.P. and Muetzel, S. 2011. Effects of feeding fresh with clover (*Trifolium repens*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) on enteric methane emissions from sheep. *Anim Feed Sci Tech*, 166-167: 398-404.
36. Hess, H.D., Monsalve, L.M., Lascano, C.E., Carulla, J.E., Díaz, T.E. and Kreuzer M. 2003. Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits: effects on in vitro ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. *Aust J Agri Res*, 54: 703-713.
37. Hindrichsen, I.K., H.R. Wettstein, A. Machmuller y M. Kreuzer. 2006. Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their

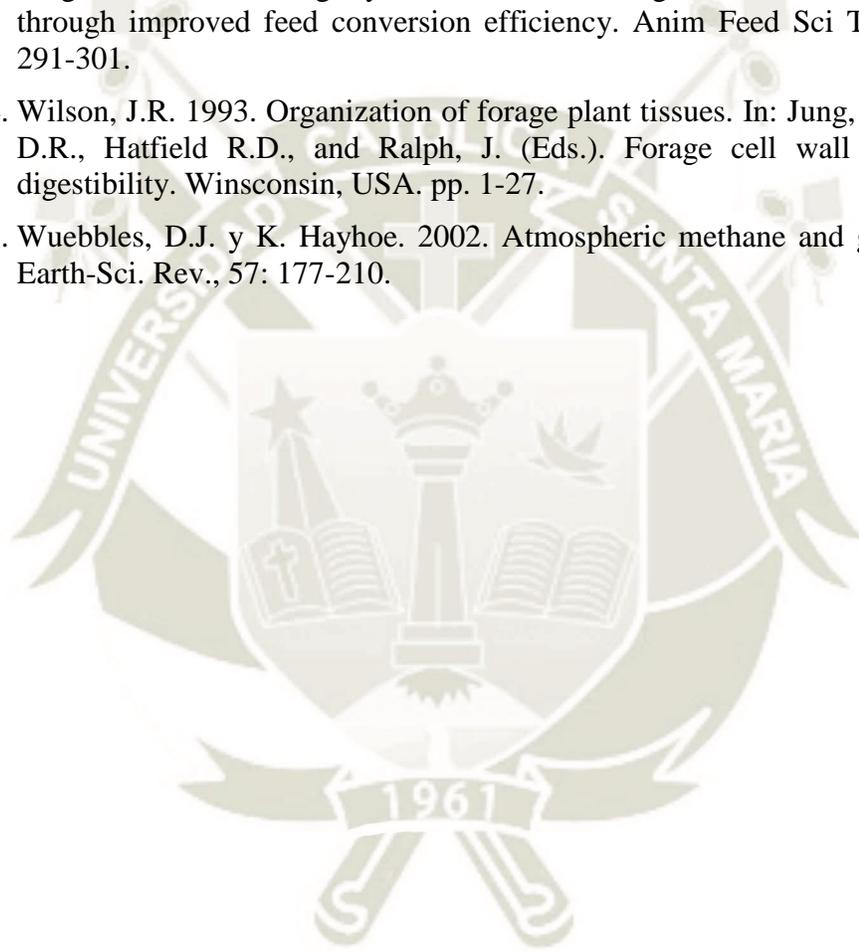
- slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 113: 150-161.
38. Hunter, R.A. 2007. Methane production by cattle in the tropics Letter to editor. *Br J Nutr*, 98: 657.
  39. IPCC. 2007. Working Group III Report: Mitigation of Climate Change, In "Climate Change 2007" IPCC, Fourth Assessment Report (AR4).
  40. Irisarri, P. 2009. Factores de emisión para metano por fermentación entérica y de óxido nitroso desde los suelos agropecuarios utilizables en métodos de nivel 2 del IPCC. *Boletín INIA – Uruguay*.
  41. Jensen, B.B. 1996. Methanogenesis in monogastric animals. *Environ. Monit. Assess.*, 42: 99-112.
  42. Johnson, D.E. y G.M. Ward. 1995. Estimates of animal methane emissions. *Environ. Monit. Assess.*, 42: 133-141
  43. Johnson, K.A. y D.E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, 73: 2483-2492.
  44. Johnson, D.E., K.A. Johnson, G.M. Ward y Branine. 2000. Ruminants and other animals. In: M.A.K. Khalil (Ed.). *Atmospheric methane. Its role in the global environment*. Springer-Verlag, Berlín. p. 112-133.
  45. Kamra, N.D., Agarwal, N. and Chaudhary, L.C.2010. Effect of tropical feeds and plants containing secondary metabolites on methane emission by ruminants. *Trop Anim Health Pro*, 1701: 1-23.
  46. Khalil, N.A.K., R. A. Rasmussen, and F. Moraes. 1993. Atmospheric methane at Cape Meares: analysis of a high-resolution data base and its environmental implications. *J. Geophys. Res.* 98: 14753.
  47. Klevenhusen, F., Bernasconi, S.M., Hofstetter, T., Bolotin, J., Kunz, C. and Soliva, C.R. 2009. Efficiency of monolaurin in mitigating ruminal methanogenesis and modifying C-isotope fractionation when incubating diets of either C3 or C4 plants in a rumen simulation technique (Rusitec) system. *Brit J Nutr*, 18: 6, 1-11.
  48. Kurihara, M., Magner, T., Hunter, R.A. and McCrabb, G.J. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *Brit J Nutr*, 81: 227-234.
  49. Leng, R. A. 1993. Quantitative ruminant nutrition - A green science. *Australian Journal of Agricultural Research* 44: 363-80
  50. Lorente Saiz, A. 2010. *Licenciatura de Geografía*. Universidad de Alicante (España).
  51. Lovett, D.K., McGilloway, D., Bortolozzo, A., Hawkins, M., Callan, J., Flynn, B. and O'Mara, F.P. 2005. In vitro fermentation patterns and methane production as influenced by cultivar and season of harvest of *Lolium perenne* L. *Grass Forage Sci.* 61: 9-21.

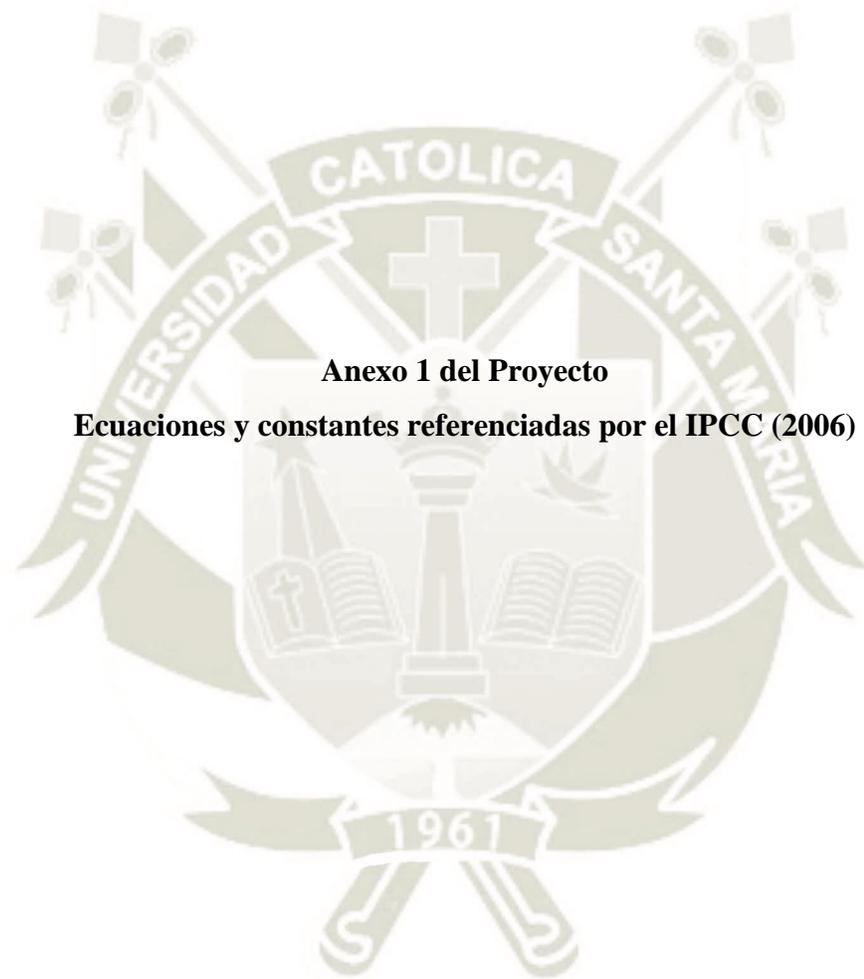
52. Lovett, D.K., Bortolozzo, A., Conaghan, P., O'Kiely, P. and O'Mara, F.P. 2004. In vitro total and methane gas production as influenced by rate of nitrogen application, season of harvest and perennial ryegrass cultivar. *Grass Forage Sci*, 59: 227-232.
53. McAllister, T.A., Okine, E.K., Mathison, G.W. and Cheng, K.J. 1996. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Can J Anim Sci*, 76: 231-243.
54. Martin, C., Morgavi, D.P. and Doreau, M. 2009. Methane mitigation in ruminants: from microbe to farm scale. *The Animal Consortium 2009. Animal*, 4: 1-15.
55. Maynard L. A., J. K. Loosli, H. F. Hintz y R. G. Warner. 1979. *Nutrición Animal*. 4ta Ed.. McGraw-Hill. Mexico.
56. McCaughey, W.P., Wittenberg, K. and Corrigan D. 1999. Impact of pasture on methane production by lactating beef cows. *Can J Anim Sci*, 79: 221-226.
57. McCaughey W, Wittenberg K, Corrigan D. 1997. Methane production by steers on pasture. *Can J An Sc.*; 76 (3): 519-524.
58. Misselbrook, T., Kim, E.J., Bulmer, N., Munrray, R., Scollan, N. and Chadwick, D. 2010. Evaluation of effects of grass water-soluble carbohydrate on methane emissions from grazing lambs. In: McGeough, EJ. and McGinn, S.M. (Eds.). *Proceeding of the 4th Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conference. Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conference. Banff, Canadá.*
59. Moe, P.W. and Tyrrell, H.F. 1979. Methane production in dairy cows. *J Dairy Sci*, 62: 1583-1586.
60. Montenegro, J. y S. Abarca. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: *Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. Ed. Nuestra Tierra. 334 p.*
61. Monteny, G.J., C.M. Groenestein y M.A. Hilhorst. 2001. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 60: 123-132.
62. Morse, D. 1995. Environmental considerations of livestock producers. *J. Anim. Sci.* 73: 2733-2740.
63. Moss, A.R., D.I. Givens y P.C. Garnsworthy. 1995. The effect of supplementing grass-silage with barley on digestibility, in-sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep at two levels of intake. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 55: 9-33.
64. Mieres, J., Olivera, L., Martino, D., La Manna, A., Fernández, E., Palermo, R. and Gremminger, H. 2002. Methane emissions from holstein heifers grazing contrasting pastures in Uruguay. [http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/methane\\_uruguay.pdf](http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/methane_uruguay.pdf) (05/10/2012).

65. Moss, A.R., J.P. Jouany y J. Newbold. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.*, 49: 231-253.
66. Muetzel, S., Knight, T.W., Hoskin, S.O., Molano, G., Maclean, S., Silva-Villacorta, D. and Clark, H. 2009. Level of intake and physiological state influences methane emissions from sheep fed fresh pasture. En: Chilliard, Y., Glasser, F., Faulconnier, Y., Bocquier, F., Vissier, I. and Doreau, M. (Eds.). *Ruminant physiology, digestion metabolism and effects of nutrition on reproduction and welfare. Proceedings of the XI International Symposium on Ruminant Physiology.* Clermont-Ferrand. France.
67. Navarro, F. y V. Alcántara. 2009. Sobre los subsistemas input-output en el análisis de emisiones contaminantes. Una aplicación a las emisiones de CH<sub>4</sub> en Cataluña. Departament d'Economia Aplicada Universitat Autònoma de Barcelona. España.
68. Navarro-Villa, A., O'Brien, M., López, S., Boland, TM. and O'Kiely, P. 2011. *In vitro* rumen methane output of red clover and perennial ryegrass assayed using the gas production technique (GPT). *Anim Feed Sci Technol*, 168: 152-164.
69. NCAE. 1998. National Council for Agricultural Education. Global climate change and environmental stewardship by ruminant livestock producers. Student reference. Agricultural Education and University of Missouri.
70. Niggli, U., Fliebbach, A., Hepperly, P. and Scialabba, N. 2009. Low greenhouse gas agriculture: Mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems. *FAO. Rev 2-2009*.
71. Obando, Alexander. 2011. Estimación del factor de emisión de metano, bajo diferentes sistemas de alimentación y fases del ciclo gestación-lactancia de la vaca lechera, en la Irrigación Majes. Tesis de Doctorado. Escuela de Postgrado de la Universidad Católica de Santa María- Arequipa – Perú.
72. Patra, A.K. and Saxena, J. 2010. Review: A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71: 1198-1222.
73. Pinares-Patiño, C.S., Waghorn, G.C., Machmüller, A., Vlaming, B., Molano, G., Cavanagh, A. and Clark, H. 2007a. Methane emissions and digestive physiology of non-lactating dairy cows fed pasture forage. *Can J Anim Sci*, 86: 601-613.
74. Pinares-Patiño, C.S., Ulyatt, M.J., Lassey, K.R., Barry, T.N. and Holmes, C.W. 2003c. Rumen function and digestion parameters associated with differences between sheep in methane emissions when fed chaffed lucerne hay. *J Agr Sci*, 140: 205-214.
75. Place, S. E., and F. M. Mitloehner. 2010. Contemporary environmental issues: A review of the dairy industry's role in climate change and air quality and the potential of mitigation through improved production efficiency. *J. Dairy Sci.* 93: 3407-3416.

76. Preston TR, Leng RA. Friendly development. *Livestock Research for Rural Development*, 1(1), November, 1989.
77. Primavesi O, Shiraishi RT, Dos Santos M, Aparecida M, Teresinha T, Franklin P. 2004. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq agropec bras*, 39 (3): 277-283.
78. Primavesi, O., Frighetto, R.T.S., Pedreira, M.S., Lima, M.A., Berchielli, T.T. and Rodrigues, A.A. 2003. Low-fiber sugarcane to improved meatproduction with less methane emissions in tropical dry season. <http://www.coalinfo.net.cn/coalbed/meeting/2203/papers/agriculture/AF066.pdf>
79. Rojo, J. M. 2007. Regresión lineal múltiple. Laboratorio de Estadística. Instituto de Economía y Geografía. Madrid - España.
80. Rowland F. S. and M. J. Molina. 1975. Chlorofluoromethanes in the environment. *Rev. Geophys.*13(1): 1-35.
81. Salisbury, FB. and Ross, CW. 2000. Fisiología de las plantas 2. Bioquímica vegetal. Traducción Alonso, JM. Thomson Editores Spain. Madrid. España. pp. 359-374.
82. SAS V9.0. 2002. User Manual SAS Institute Inc, Cary, NC. USA
83. Seinfeld, J.H. y S.N. Pandis. 1998. Atmospheric chemistry and physics of air pollution. John Wiley & Sons, Nueva York. 1326 p.
84. SENAMHI. 2002. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía. Estación Meteorológica La Colina – Irrigación Majes.
85. Steele, L.P., E.J. Dlugokencky, P.M. Lang, P.P. Tans, R.C. Martin y K.A. Masarie. 1992. Slowing down of the global accumulation of atmospheric methane during the 1980s. *Nature*, 358: 313-316.
86. Stevens, R. J., and R. J. Laughlin. 1998. Measurement of nitrous oxide and di-nitrogen emission from agricultural soils. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 52: 131-139.
87. Sun, X.Z., Hoskin, S.O., Zhang, G.G., Molano, G., Muetzel, S., Pinares-Patiño, C.S., Clark, H. and Pacheco, D. 2011a. Sheep fed forage chicory (*Cichorium intybus*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) have similar methane emissions. *Anim Feed Sci Technol*, 172: 217-225.
88. Sun, X.Z., Hoskin, S.O., Muetzel, S., Molano, G. and Clark, H. 2011b. Effects of forage chicory (*Cichorium intybus*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*) on methane emissions *in vitro* and from sheep. *Anim Feed Sci Technol*, 166-167: 391-397.
89. Tiemann, T.T., Avila, P., Ramírez, G., Lascano, C.E., Kreuzer, M. and Hess, H.D. 2008a. In vitro ruminal fermentation of tanniferous tropical plants: Plant-specific tannin effects and counteracting efficiency of PEG. *Anim Feed Sci Technol*, 146: 222-241.

90. UNFCC. 2007. Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera en base al Manual de Referencia IPCC y UNFCC. Submission 2007. Spain. CRF. Inventory 2005.
91. Van Amstel A. 2005. Integrated assessment of climate change with reduction of methane emissions. *Environ Sci* 2005 2(2-3):315-326
92. Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2° Ed. Comstock. Cornell University Press. 476 pp.
93. Waghorn, G.C. and Hegarty, R.S. 2011. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Anim Feed Sci Tech*, 166-167: 291-301.
94. Wilson, J.R. 1993. Organization of forage plant tissues. In: Jung, H.G., Buxton, D.R., Hatfield R.D., and Ralph, J. (Eds.). *Forage cell wall structure and digestibility*. Winsconsin, USA. pp. 1-27.
95. Wuebbles, D.J. y K. Hayhoe. 2002. Atmospheric methane and global change. *Earth-Sci. Rev.*, 57: 177-210.





**Anexo 1 del Proyecto**  
**Ecuaciones y constantes referenciadas por el IPCC (2006)**

## Anexo 02 del Proyecto

### Ecuaciones y constantes utilizadas por el modelo para estimar emisión de metano entérico en vacas lecheras (IPPC, 2006).

**Energía neta para mantenimiento:** ( $NE_m$ ) es la energía neta requerida para mantenimiento; es decir, la cantidad de energía necesaria para mantener a un animal en equilibrio sin que se gane ni se pierda energía corporal (Jurgen, 1988).

**ECUACIÓN 10.3  
ENERGÍA NETA PARA MANTENIMIENTO**

$$NE_m = C_f_i \cdot (Peso)^{0.75}$$

Donde:

$NE_m$  = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento, MJ día<sup>-1</sup>

$C_f_i$  = un coeficiente que varía para cada categoría de animales, como se indica en el Cuadro 10.4 (Coeficientes para calcular  $NE_m$ ), MJ día<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>

Peso = peso vivo del animal, kg.

**ECUACIÓN 10.4  
ENERGÍA NETA PARA ACTIVIDAD (PARA VACUNOS Y BÚFALOS)**

$$NE_a = C_a \cdot NE_m$$

Donde:

$NE_a$  = energía neta para la actividad animal, MJ día<sup>-1</sup>

$C_a$  = coeficiente correspondiente a la situación alimentaria del animal (Cuadro 10.5, Coeficientes de actividad)

$NE_m$  = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (Ecuación 10.3), MJ día<sup>-1</sup>

**CUADRO 10.4  
COEFICIENTES PARA CALCULAR LA ENERGÍA NETA PARA MANTENIMIENTO ( $NE_m$ )**

Categoría animal	$C_f_i$ (MJ d <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	Comentarios
Vacunos/búfalos (vacas no en lactancia)	0,322	
Vacunos/búfalos (vacas en lactancia)	0,386	Este valor es un 20% más alto para mantenimiento durante la lactancia.
Vacunos/búfalos (toros)	0,370	Este valor es un 15% más alto para mantenimiento de machos enteros.
Ovinos (corderos de hasta 1 año)	0,236	Este valor puede incrementarse en un 15% para machos enteros.
Ovinos (de más de 1 año)	0,217	Este valor puede incrementarse en un 15% para machos enteros.

Fuente: NRC (1996) y AFRC (1993).

**CUADRO 10.5  
COEFICIENTES DE ACTIVIDAD CORRESPONDIENTES A LA SITUACIÓN ALIMENTARIA DE LOS ANIMALES**

Situación	Definición	$C_a$
<b>Vacunos y búfalos (la unidad para <math>C_a</math> no tiene dimensión)</b>		
Compartimiento	Los animales están confinados en una pequeña superficie (es decir, amarrados, en caballerizas, en establo) de lo que resulta que gastan muy poca o ninguna energía en procura de alimento.	0,00
Pastura	Los animales están confinados en áreas con suficiente forraje, lo que exige un escaso gasto de energía en procura del 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
<b>Ovinos (unidad para <math>C_a = \text{MJ d}^{-1} \text{kg}^{-1}</math>)</b>		
Ovejas en corral	Los animales están confinados debido a la preñez durante el trimestre final (50 días)	0,0090

Fuente: NRC (1996) y AFRC (1993).

**Energía neta para crecimiento:** ( $NE_g$ ) es la energía neta necesaria para el crecimiento (es decir, para ganar peso). La Ecuación 10.6 se basa en NRC (1996). La Ecuación 10.7 se basa en Gibbs *et al.* (2002). Se han incorporado a la ecuación constantes para la conversión de calorías en julios y de peso corporal vivo a reducido y vacío.

**ECUACIÓN 10.6**  
**ENERGÍA NETA PARA CRECIMIENTO (PARA VACUNOS Y BÚFALOS)**

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

Donde:

$NE_g$  = energía neta para el crecimiento, MJ día<sup>-1</sup>

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

C = es un coeficiente con un valor de 0.8 para hembras, 1.0 para castrados y 1.2 para toros (NRC, 1996)

MW = peso corporal vivo y maduro de una hembra adulta en condición corporal moderada, kg

WG = aumento de peso diario promedio de los animales de la población, kg día<sup>-1</sup>

**Energía neta para lactancia:** ( $NE_l$ ) es la energía neta para la lactancia. Para vacunos y búfalos, la energía neta para lactancia se expresa como función de la cantidad de leche producida y su contenido graso expresado como porcentaje (p. ej., 4%) (NRC, 1989):

**ECUACIÓN 10.8**  
**ENERGÍA NETA PARA LACTANCIA (PARA VACUNOS DE CARNE, GANADO LECHERO Y BÚFALOS)**

$$NE_l = Leche \cdot (1,47 + 0,40 \cdot Grasa)$$

Donde:

$NE_l$  = energía neta para lactancia, MJ día<sup>-1</sup>

Leche = cantidad de leche producida, kg de leche día<sup>-1</sup>

Grasa = contenido graso de la leche, % por peso

**ECUACIÓN 10.9**  
**ENERGÍA NETA PARA LACTANCIA OVINA (PRODUCCIÓN DE LECHE CONOCIDA)**

$$NE_l = Leche \cdot EV_{leche}$$

Donde:

$NE_l$  = energía neta para lactancia, MJ día<sup>-1</sup>

Leche = cantidad de leche producida, kg de leche día<sup>-1</sup>

$EV_{leche}$  = la energía neta requerida para producir 1 kg de leche. Se puede usar un valor por defecto de 4.6 MJ/kg (AFRC, 1993) que corresponde a un contenido graso de la leche del 7% de su peso

**ECUACIÓN 10.11**  
**ENERGÍA NETA PARA EL TRABAJO (PARA VACUNOS Y BÚFALOS)**

$$NE_{trabajo} = 0,10 \cdot NE_m \cdot Horas$$

Donde:

$NE_{trabajo}$  = energía neta para el trabajo, MJ día<sup>-1</sup>

$NE_m$  = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (Ecuación 10.3), MJ día<sup>-1</sup>

Horas = cantidad de horas de trabajo por día

**ECUACIÓN 10.13**  
**ENERGÍA NETA PARA PREÑEZ (PARA VACUNOS, BÚFALOS Y OVINOS)**

$$NE_p = C_{preñez} \cdot NE_m$$

Donde:

$NE_a$  = energía neta para la preñez, MJ día<sup>-1</sup>

$C_{preñez}$  = coeficiente de preñez (véase el Cuadro 10.7)

$NE_m$  = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (Ecuación 10.3), MJ día<sup>-1</sup>

**CUADRO 10.7**  
**CONSTANTES A UTILIZAR EN EL CÁLCULO DE  $NE_p$  EN LA ECUACIÓN 10.13**

Categoría animal	$C_{pregnancy}$
Vacunos y búfalos	0,10
Ovinos	
Nacimiento único	0,077
Nacimiento doble (mellizos)	0,126

Fuente: Estimación para vacunos y búfalos desarrollada a partir de datos de NRC (1996). Estimaciones para ovinos desarrolladas a partir de datos de AFRC (1993), teniendo en cuenta la ineficiencia de la conversión de energía.

**ECUACIÓN 10.14**  
**RELACIÓN ENTRE LA ENERGÍA DISPONIBLE EN UNA DIETA PARA MANTENIMIENTO Y LA ENERGÍA DIGERIBLE CONSUMIDA**

$$REM = \left[ 1123 - (4092 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [1126 \cdot 10^{-5} \cdot (DE\%)^2] - \left( \frac{25,4}{DE\%} \right) \right]$$

Donde:

REM = relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida

DE% = energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta

**ECUACIÓN 10.15**  
**RELACIÓN ENTRE LA ENERGÍA DISPONIBLE EN UNA DIETA PARA CRECIMIENTO Y LA ENERGÍA DIGERIBLE CONSUMIDA**

$$REG = \left[ 1164 - (5160 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [1308 \cdot 10^{-5} \cdot (DE\%)^2] - \left( \frac{37,4}{DE\%} \right) \right]$$

Donde:

REG = relación entre la energía neta disponible en la dieta para crecimiento y la energía digerible consumida

DE% = energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta

**ECUACIÓN 10.16**  
**ENERGÍA BRUTA PARA VACUNOS, BÚFALOS Y OVINOS)**

$$GE = \left[ \frac{\left( \frac{NE_m + NE_a + NE_1 + NE_{trabajo} + NE_p}{REM} \right) + \left( \frac{NE_g + NE_{lana}}{REG} \right)}{\frac{DE\%}{100}} \right]$$

Donde:

GE = energía bruta, MJ día<sup>-1</sup>

NE<sub>m</sub> = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (Ecuación 10.3), MJ día<sup>-1</sup>

NE<sub>a</sub> = energía neta para la actividad animal (Ecuaciones 10.4 y 10.5), MJ día<sup>-1</sup>

REM = relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida (Ecuación 10.14)

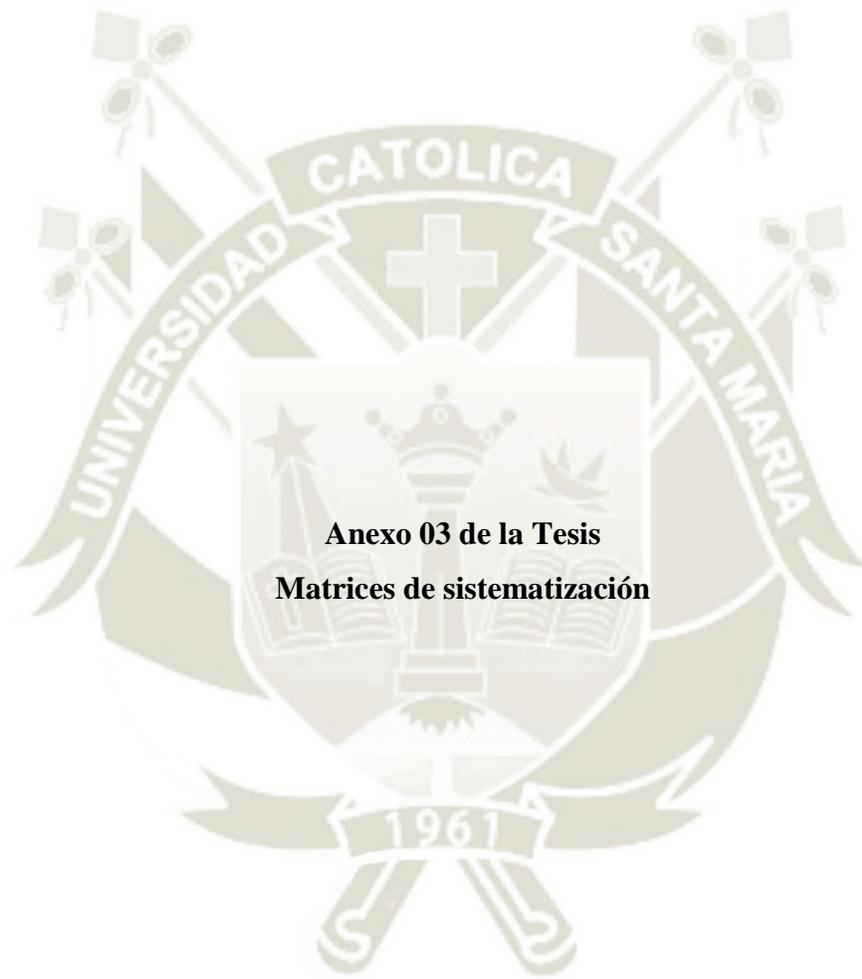
NE<sub>a</sub> = energía neta para el crecimiento (Ecuaciones 10.6 y 10.7), MJ día<sup>-1</sup>

NE<sub>lana</sub> = energía neta requerida para producir un año de lana (Ecuación 10.12), MJ día<sup>-1</sup>

REG = relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía digerible consumida (Ecuación 10.15)

DE% = energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta





Anexo 3.1

<b>MATRIZ DE DATOS SISTEMA INTENSIVO</b>				
	<b>Total</b>	<b>Fase I</b>	<b>Fase II</b>	<b>Fase III</b>
<b>UBICACIÓN</b>				
<b>PROPIETARIO</b>				
<b>TIPO DE SISTEMA</b>	<b>Intensivo</b>			
<b>COMPOSICIÓN DEL HATO</b>				
<b>Vacas</b>				
- Vacas Producción	52.80			
- Vacas Fase I ( Alta producción)	21.70	21.70		
- Vacas Fase II (Media a baja)	31.10		31.10	
- Vacas en seca	9.20			9.20
- Total Vacas	62.00			
<b>Recria</b>				
- Terneras menores de 3 meses	5.67			
- Terneras de 3 a 6 meses	11.00			
- Terneras de 6 a 12 meses	12.00			
- Vaquillas	11.44			
- Vaquillonas	11.38			
- Terneros	0.71			
- Toretes	0.00			
- Toros	0.00			
- TOTAL	48.22			
<b>Producción de leche</b>				
- Total leche producida	1548.70	817.80	730.90	0.00
- Promedio vaca Producción	28.56	36.47	22.29	0.00
<b>INSUMOS CONCENTRADOS</b>				
- Harina de maíz		4.09	2.39	0.90
- Arroz molido		1.17	0.92	
- Salvado de trigo		1.29	1.57	
- Acemite (Moyuelo)				
- Harina de sorgo		0.91	0.51	
- Polvillo de arroz		0.58	0.43	0.16
- Orujo de ceituna		0.13	0.07	0.03
- Melaza		0.39	0.27	0.10
- Harina de girasol		0.83	0.37	0.18
- Harina integral de soya		1.16	0.52	0.20
- Concentrado Proteico Alicorp		0.92	0.65	0.25

/// VAN...

...VIENEN///

- Torta de soya		3.21	2.10	0.77
- Pasta de algodón expeller		1.31	0.97	0.32
- Semilla de algodón		1.30	1.01	0.35
- Torta de girasol		0.34	0.39	0.28
- Harina de pescado estandard		0.39	0.33	0.13
- Sal		0.08	0.05	0.02
- Carbonato calcio		0.21	0.16	0.06
- Fosfato dicalcico		0.01	0.01	
- Energy Fat		0.12	0.08	0.03
- Premezcla vitamínico mineral		0.03	0.02	0.02
- Setox plus		0.03	0.02	0.01
- Bicarbonato de sodio		0.21	0.14	0.05
- Sulfato ferroso		0.01	0.01	
- Urea		0.25	0.10	0.05
- Procreatin 7		0.01	0.01	
- Total balanceado		12.10	8.24	3.04
CONSUMO DE M.S.		25.35	21.50	13.43

### Anexo 3.2

COMPOSICIÓN DE LA RACIÓN				
		Fase I	Fase II	Fase III
- Alfalfa			12.00	
- Heno de alfalfa		4.38	3.60	
- Ensilaje de maíz A		42.50	42.50	35.00
- Ensilaje de maíz B		36.83	36.33	31.17
- Ensilaje de maíz C		49.00	48.75	36.50
- Heno de avena		3.00	3.00	
<b>VALOR NUTRITIVO DE LA RACIÓN</b>				
Materia seca (%)		44.68	41.00	35.21
NDT (%)		71.70	69.96	68.30
ENI (Mcal/kg)		1.63	1.58	1.54
Proteína cruda (%)		17.34	15.61	12.74
Proteína by pass (%)		6.39	5.63	4.39
Proteína degradable (%)		10.74	9.80	8.29
Grasa cruda (%)		4.03	3.71	3.38
Cenizas (%)		6.52	6.64	6.41
Fibra cruda (%)		19.45	21.76	24.90
FDN (%)		34.87	38.74	43.26
FDA (%)		19.81	21.78	24.19
Calcio (%)		0.66	0.63	0.45
Cloro (%)		0.27	0.21	0.10

...VIENEN///

Magnesio (%)		0.26	0.27	0.25
Fósforo (%)		0.40	0.39	0.31
Potasio (%)		1.31	1.34	1.30
Sodio (%)		0.39	0.28	0.13
Azufre (%)		0.17	0.16	0.13
Cobalto (ppm)		0.19	0.16	0.43
Cobre (ppm)		19.08	16.24	52.86
Yodo (ppm)		0.63	0.53	2.41
Hierro (ppm)		144.00	132.69	104.69
Manganeso (ppm)		32.54	30.97	30.43
Selenio (ppm)		0.31	0.27	0.30
Zinc (ppm)		79.38	68.38	978.63
Vitamina A (UI/kg)		6800.15	5601.35	6830.60
Vitamina D (UI/kg)		707.49	582.49	702.43
Vitamina E (UI/kg)		19.48	16.41	17.65
CNF (%)		37.87	36.60	36.39

### Anexo 3.3

Coeficientes del sistema intensivo				
Categoría	vaca	vaca	vaca	vaca
Subcategoría	Vacas en producción	Vacas en Alta Producción	Vacas Media Producción	Vacas en seca
Peso Vivo (kg)	601.00	549.00	600.00	632.00
Coeficiente actividad	0.00	0.00	0.00	0.00
Trabajo	0.00	0.00	0.00	0.00
Digestibilidad	70.16	71.70	69.96	68.30
Coeficiente para calcular ENm	0.46	0.46	0.46	0.39
Coeficiente Hembra Crec	0.80	0.80	0.80	0.80
Peso Corporal maduro (kg)	600.00	600.00	600.00	600.00
Aumento de Peso Promedio	0.27	0.00	0.49	0.00
Temperatura media (° C)	16.10	16.10	16.10	16.10
Producción leche promedio	24.12	36.47	22.29	0.00
Contenido graso leche (%)	3.20	3.00	3.50	0.00
Coeficiente Preñez	0.10	0.10	0.10	0.10
Ym (Sistemas intensivos)	6.00	5.50	6.50	6.50
Periodo	365.00	100.00	205.00	60.00

**Anexo 3.4**

<b>Constantes para Modelo IPCC (2006)</b>				
Energía Neta mantenimiento (MJ/día)	56.21	52.52	56.14	48.64
Energía Neta de actividad	0.00	0.00	0.00	0.00
Energía Neta de Ganancia	6.30	0.00	11.84	0.00
Energía Neta de lactancia	66.33	97.38	63.98	0.00
Energía Neta de trabajo	0.00	0.00	0.00	0.00
Energía Neta de Preñez	5.62	5.25	5.61	4.86
REM (1)	0.53	0.53	0.53	0.52
REG (2)	0.33	0.34	0.33	0.32
EB1	242.15	290.99	237.8 4	102.1 6
EB2	18.92	0.00	35.69	0.00
EB3	0.70	0.72	0.70	0.68
Energía Bruta	372.00	405.76	391.1 0	149.7 9
(1) Relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digestible consumida				
(2) Relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía digestible consumida				
FACTOR DE EMISIÓN (Kg CH <sub>4</sub> /vaca/periodo)	146.39	40.10	93.65	10.50
FACTOR DE EMISIÓN (Kg CH <sub>4</sub> /día)	0.40	0.40	0.46	0.17
FACTOR DE EMISIÓN (kg CH <sub>4</sub> /kg leche)	0.02	0.01	0.02	0.00

**Anexo 3.5.**

**DATOS RELACIÓN METANO Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL –  
SISTEMA INTENSIVO**

<b>METANO</b>	<b>PC</b>	<b>PBP</b>	<b>PD</b>	<b>NDT</b>	<b>ENI</b>	<b>FC</b>	<b>FDN</b>	<b>FDA</b>	<b>DIGES</b>
43.76	16.98	6.33	10.65	70.24	1.59	19.93	35.30	20.57	70.24
41.77	16.87	6.11	10.75	70.13	1.60	20.30	36.88	20.62	70.13
36.76	15.58	6.14	8.75	72.26	1.65	20.87	34.55	20.78	72.26
43.67	18.36	7.03	11.34	73.31	1.67	18.05	33.09	20.06	73.31
38.28	16.31	5.71	10.40	70.50	1.59	20.73	37.35	20.49	70.50
42.87	18.12	6.61	10.90	72.67	1.65	18.64	35.45	18.97	72.67
38.57	17.46	6.53	10.93	69.58	1.58	20.43	35.55	21.06	69.58
45.72	17.39	6.75	10.64	75.16	1.70	16.06	31.06	16.53	75.16
31.33	20.18	7.17	13.01	74.20	1.68	17.48	31.10	17.69	74.20
38.29	16.10	5.56	9.99	68.95	1.57	22.00	38.37	21.36	68.95

**Anexo 3.6**

<b>MATRIZ DE DATOS SISTEMA EXTENSIVO</b>				
	<b>Total</b>	<b>Fase I</b>	<b>Fase II</b>	<b>Fase III</b>
<b>UBICACIÓN</b>				
<b>PROPIETARIO</b>				
<b>TIPO DE SISTEMA</b>	<b>Extensivo</b>			
<b>COMPOSICIÓN DEL HATO</b>				
Vacas				
- Vacas Producción	14.1			
- Vacas Fase I ( Alta producción)	5.6	5.6		
- Vacas Fase II (Media a baja)	8.5		8.5	
- Vacas en seca	4.8			4.8
- Total Vacas	18.9			
<b>Recria</b>				
- Terneras menores de 3 meses	2.5			
- Terneras de 3 a 6 meses	3			
- Terneras de 6 a 12 meses	3.5			
- Vaquillas	2.88888889			
- Vaquillonas	3.44444444			
- Terneros	2.14285714			
- Toretes	0.4			
- Toros	0.25			
- TOTAL	15.2			
<b>Producción de leche</b>				
- Total leche producida	256.95	138.42	118.53	
- Promedio vaca Producción	17.5592534	24.255	13.9231389	

**Anexo 3.7**

<b>COMPOSICIÓN DE LA RACIÓN</b>				
- Alfalfa		31.6	31.3	31.3
- Ensilaje de maíz B		29.2666667	29.2666667	23.5
- Ensilaje de maíz C		23.9166667	23.9166667	17
- Broza de poroto		0.93333333	0.93333333	1.15
- Heno de avena		0.66	0.66	
- VIENEN///		1	1	
...VIENEN///		1.5	1.5	1.5
<b>INSUMOS CONCENTRADOS</b>				
- Harina de maíz		1.208	0.5647	0.25

/// VAN...

...VIENEN///

- Arroz molido				
- Salvado de trigo		1.1558	0.5204	0.26
- Acemite (Moyuelo)				
- Harina de sorgo				
- Polvillo de arroz		0.4449	0.1996	0.095
- Orujo de ceituna				
- Melaza				
- Harina de girasol		0.3037	0.1367	0.08409091
- Harina integral de soya		0.0682	0.04	0.01363636
- Concentrado Proteico Alicorp		0.6667	0.2995	0.15590909
- Torta de soya		0.668	0.31344444	0.12159091
- Pasta de algodón expeller		0.0425	0.0185	
- Sal		0.0358	0.0162	0.00795455
- Carbonato calcio		0.012575	0.00575	0.0025
- Fosfato dicalcico		0.0217	0.00978	
- Montafos 21				
- Energy Fat				
- Premezcla vitamínico mineral		0.01602	0.0074104	0.006
- Setox plus				
- Bicarbonato de sodio		0.0595	0.0325	
- Total balanceado		4.62778	2.0948904	0.25059091
CONSUMO DE M.S.		19.165302	16.8077014	12.5961127
<b>VALOR NUTRITIVO DE LA RACIÓN</b>				
Materia seca (%)		33.26	30.778	28.474
NDT (%)		64.397	63.048	61.052
ENI (Mcal/kg)		1.458	1.418	1.367
Proteína cruda (%)		16.029	14.925	14.657
Proteína by pass (%)		6.123	5.585	5.432
Proteína degradable (%)		9.897	9.334	9.215
Grasa cruda (%)		3.365	3.169	2.959
Cenizas (%)		8.032	8.17	8.657
Fibra cruda (%)		22.935	24.704	25.912
FDN (%)		42.112	44.042	42.377
FDA (%)		26.624	28.328	30.34
Calcio (%)		0.8	0.854	1.008
Cloro (%)		0.291	0.253	0.252
Magnesio (%)		0.318	0.304	0.297
Fósforo (%)		0.358	0.284	0.216
Potasio (%)		1.842	1.913	2.097
Sodio (%)		0.162	0.122	0.097
Azufre (%)		0.204	0.199	0.2153

/// VAN...

...VIENEN///

Cobalto (ppm)		0.189	0.142	0.111
Cobre (ppm)		15.738	11.48	7.9282
Yodo (ppm)		0.476	0.297	0.127
Hierro (ppm)		140.531	132.58	137.82
Manganeso (ppm)		39.383	30.415	23.59
Selenio (ppm)		0.344	0.27	0.225
Zinc (ppm)		62.55	39.987	19.077
Vitamina A (UI/kg)		4792.05	2539.2	276.732
Vitamina D (UI/kg)		876.878	262.14	26.243
Vitamina E (UI/kg)		40.28	19.337	17.023
CNF (%)		31.658	31.166	29.64

**Anexo 3.8**

<b>Coefficientes del sistema mixto</b>				
<b>Categoría</b>	<b>vaca</b>	<b>vaca</b>	<b>vaca</b>	<b>vaca</b>
<b>Subcategoría</b>	<b>Vacas en producción</b>	<b>Vacas en Alta Producción</b>	<b>Vacas Media Producción</b>	<b>Vacas en seca</b>
Peso Vivo (kg)	518	489	472	508
Coefficiente actividad (sistema intensivo)				
Coefficiente actividad (sistema mixto)	0.17	0.17	0.17	0.17
Trabajo	0	0	0	0
Digestibilidad	63.0894795	64.397	63.048	61.052
Coefficiente para calcular ENm (Cfi)	0.4632	0.4632	0.4632	0.386
Coefficiente Hembra Crec	0.8	0.8	0.8	0.8
Peso Corporal maduro (kg)	500	500	500	500
Aumento de Peso Promedio (kg/día)	0.1369863	0	0.24390244	0
Temperatura media (° C)	16.1	16.1	16.1	16.1
Producción leche promedio (kg/día)	13.7740347	24.255	13.9231389	0
Contenido graso leche (%)	3.5	3.2	3.7	0
Coefficiente Preñez	0.1	0.1	0.1	0.1
Ym (Sistemas intensivos)				
Ym (Sistemas mixtos)	7	6.5	7.5	7.5
Periodo	365	100	205	60

### Anexo 3.9

<b>Constantes para Modelo IPCC (2006)</b>				
Energía Neta mantenimiento (MJ/día)	50.28	48.16	46.89	41.29
Energía Neta de actividad	8.55	8.19	7.97	7.02
Energía Neta de Ganancia	3.02	0.00	5.30	0.00
Energía Neta de lactancia	39.53	66.70	41.07	0.00
Energía Neta de trabajo	0.00	0.00	0.00	0.00
Energía Neta de Preñez	5.03	4.82	4.69	4.13
REM (1)	0.51	0.51	0.51	0.50
REG (2)	0.30	0.30	0.30	0.28
EB1	204.04	249.91	198.60	105.15
EB2	10.16	0.00	17.85	0.00
EB3	0.63	0.64	0.63	0.61
Energía Bruta	339.89	388.16	343.52	172.41
(1) Relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digestible consumida				
(2) Relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía digestible consumida				
FACTOR DE EMISIÓN (Kg CH <sub>4</sub> /vaca/periodo)	156.05	45.34	94.91	13.94
FACTOR DE EMISIÓN (Kg CH <sub>4</sub> /día)	0.43	0.45	0.46	0.23
FACTOR DE EMISIÓN (kg CH <sub>4</sub> /kg leche)	0.03	0.02	0.03	0.00

### Anexo 3.10

#### DATOS RELACIÓN METANO Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL – SISTEMA EXTENSIVO

<b>METANO</b>	<b>PC</b>	<b>PBP</b>	<b>PD</b>	<b>NDT</b>	<b>ENI</b>	<b>FC</b>	<b>FDN</b>	<b>FDA</b>	<b>DIGEST</b>
40.62	16.51	6.26	10.22	63.57	1.45	23.46	42.66	27.46	63.57
48.80	17.72	6.99	10.73	67.60	1.54	19.62	38.40	23.35	67.60
46.45	14.67	5.45	9.22	65.57	1.47	24.16	43.63	26.54	65.57
53.38	17.10	6.67	10.42	62.65	1.42	21.96	40.57	28.07	62.65
41.75	16.19	6.20	10.00	64.00	1.46	23.06	42.26	26.91	64.00
46.29	14.42	5.42	8.98	63.92	1.45	23.97	42.70	26.98	63.92
45.79	15.29	5.67	9.58	65.33	1.49	24.16	43.49	25.77	65.33
39.95	14.22	5.26	8.96	66.18	1.50	24.10	43.60	26.10	66.18
45.75	14.98	5.70	9.28	62.20	1.37	24.47	44.51	27.39	62.20
44.60	19.19	7.61	11.58	62.95	1.43	20.39	39.30	27.67	62.95





Foto 1. Visita establos sistema intensivo. – Irrigación Majes

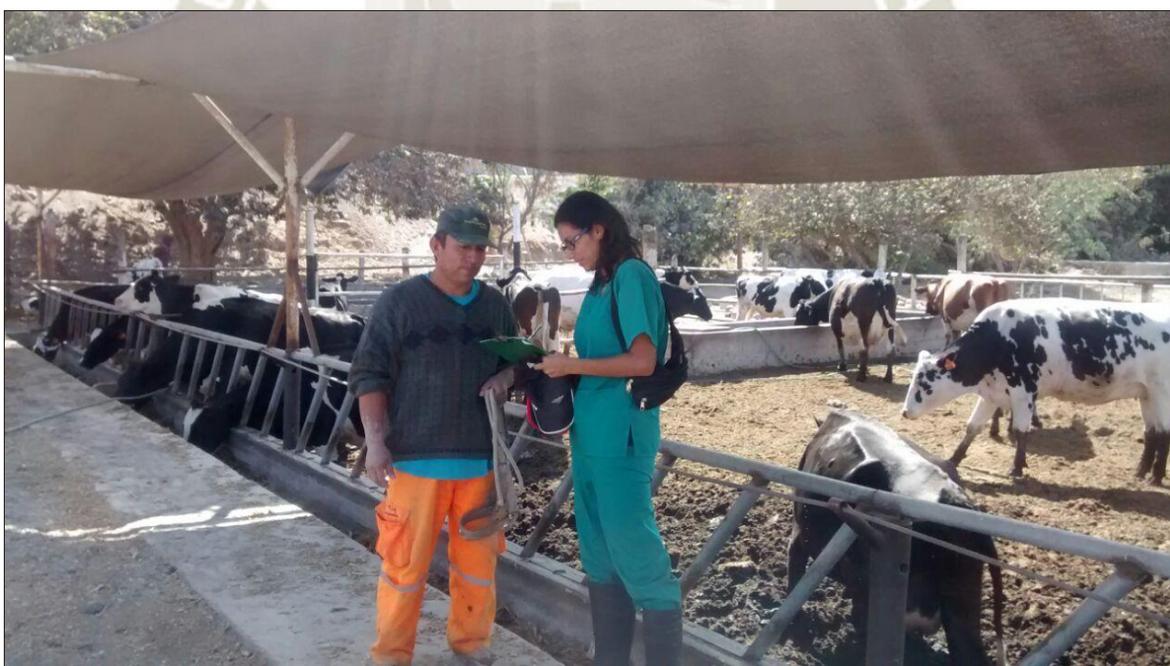


Foto 2. Recopilación de datos. Sistema intensivo. – Irrigación Majes



Foto 3. Entrevista con administrador y encargado. Sistema intensivo. – Irrigación Majes



Foto 4. Animales en pastoreo. Sistema extensivo. – Irrigación Majes.



Foto 5. Ejemplares al pastoreo del Sistema extensivo. – Irrigación Majes.



Foto 6. Cerco eléctrico para pastoreo en franjas. Sistema extensivo. – Irrigación Majes.

