

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA  
ESCUELA DE POSTGRADO  
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

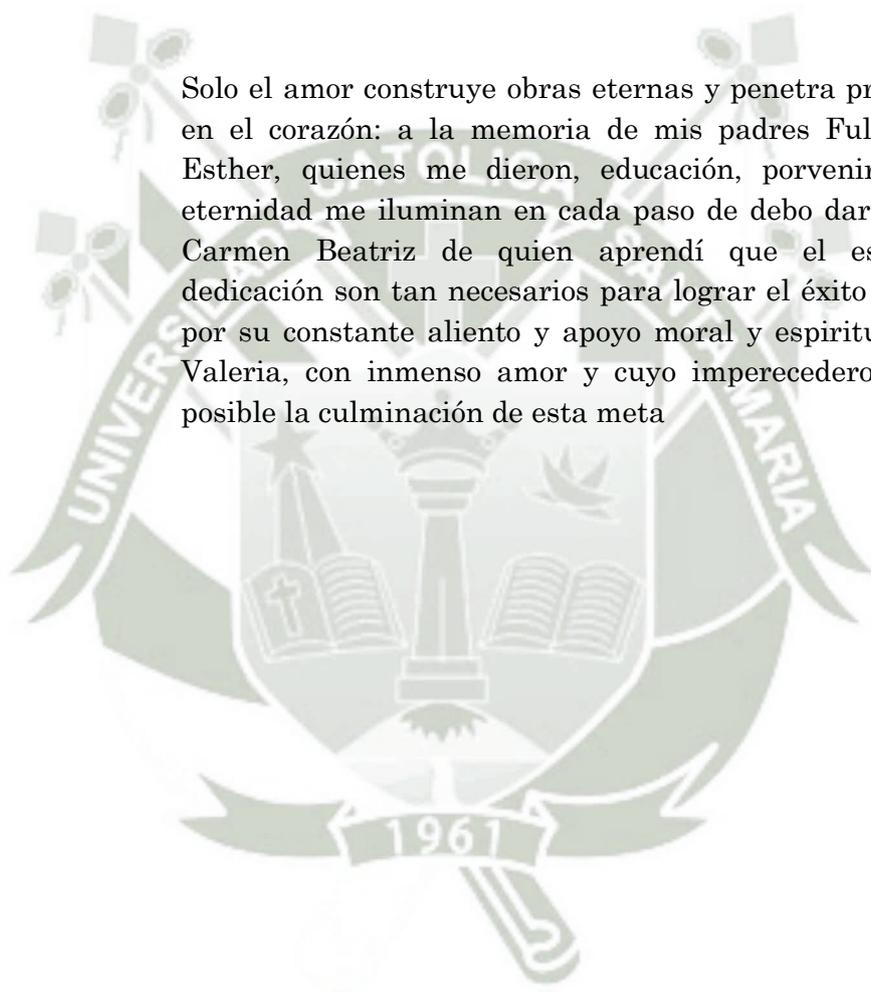


**ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO PRODUCIDAS  
POR LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL PROVENIENTE DE  
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE VACUNOS DE LECHE.  
IRRIGACIÓN MAJES, AREQUIPA – 2013**

Tesis presentada por el Magíster:  
**Juan Eduardo Reátegui Ordoñez**  
Para optar el Grado Académico de  
Doctor en Ciencias Ambientales

**AREQUIPA – PERÚ  
2014**

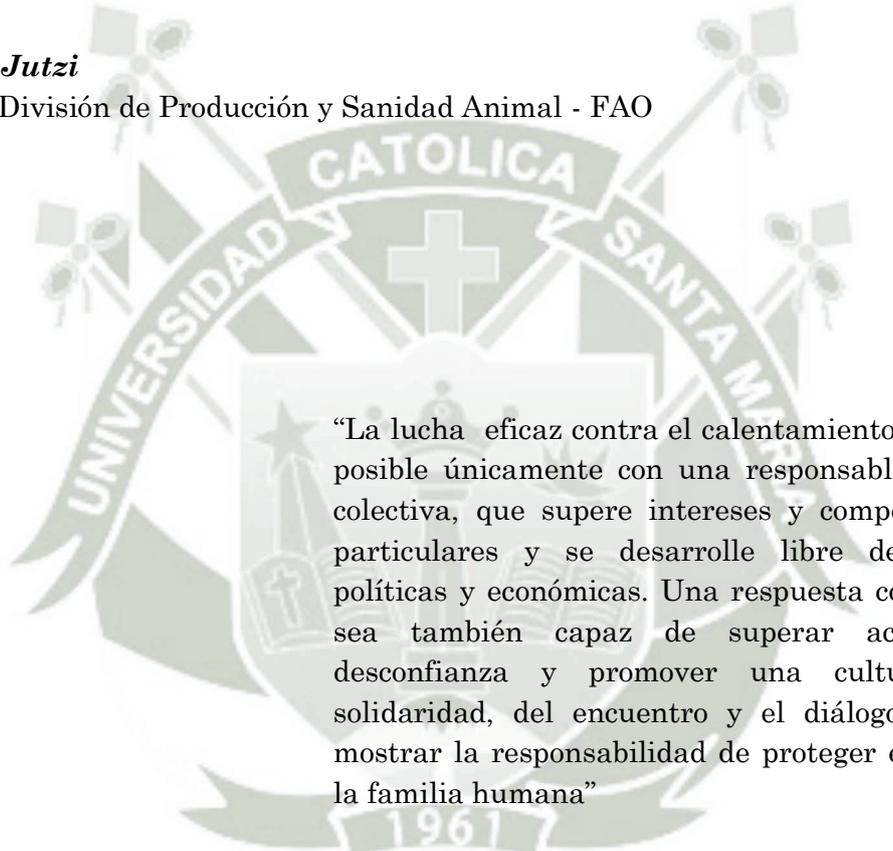
Solo el amor construye obras eternas y penetra profundamente en el corazón: a la memoria de mis padres Fulton y Gracia Esther, quienes me dieron, educación, porvenir y desde la eternidad me iluminan en cada paso de debo dar. Con amor a Carmen Beatriz de quien aprendí que el esfuerzo y la dedicación son tan necesarios para lograr el éxito profesional y por su constante aliento y apoyo moral y espiritual. A Grazia Valeria, con inmenso amor y cuyo imperecedero aliento hizo posible la culminación de esta meta



“Los diferentes y considerables impactos del sector ganadero mundial en el medio ambiente, busca la manera de llamar la atención de los profesionales y del público en general sobre la gran responsabilidad que la producción animal tiene en el cambio climático, en la contaminación atmosférica, en la degradación de la tierra, del suelo y del agua, y en la reducción de la biodiversidad.”

***Samuel Jutzi***

Director División de Producción y Sanidad Animal - FAO



“La lucha eficaz contra el calentamiento global será posible únicamente con una responsable respuesta colectiva, que supere intereses y comportamientos particulares y se desarrolle libre de presiones políticas y económicas. Una respuesta colectiva que sea también capaz de superar actitudes de desconfianza y promover una cultura de la solidaridad, del encuentro y el diálogo; capaz de mostrar la responsabilidad de proteger el planeta y la familia humana”

***Franciscus PP.***

Carta dirigida al Ministro del Medio Ambiente de la Republica de Perú y Presidente de la COP-20. Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Lima

Vaticano, 27 de noviembre de 2014

## ÍNDICE GENERAL

Resumen .....	07
Abstract .....	08
Introducción .....	09
Capítulo Único: resultados y discusión.....	17
Emisiones de metano por la gestión del estiércol de vacunos lecheros en sistemas intensivos y semi-intensivos de producción .....	18
Conclusiones .....	30
Recomendaciones .....	31
Propuesta .....	32
Bibliografía .....	56
Anexos .....	61
Anexo Nro. 01: proyecto de tesis .....	62
Anexo Nro.02: matrices de sistematización .....	114
Anexo Nro. 03: ecuaciones y coeficientes referenciados por el IPPC .....	117
Anexo Nro. 04: cálculos estadísticos .....	125
Anexo Nro. 05: secuencia fotográfica .....	127

## ÍNDICE DE TABLAS

### Tabla N° 01

Valores utilizados para determinar la emisión de metano ( $\text{CH}_4$ ) por la gestión de estiércol de sistemas de producción de leche en la Irrigación Majes ..... 18

### Tabla N° 02

Valores promedio utilizados para determinar la emisión de metano ( $\text{CH}_4$ ), por la gestión de estiércol de vacunos lecheros diferenciados por sistemas de producción en la Irrigación de Majes ..... 19

### Tabla N° 03

Emisión de metano ( $\text{CH}_4$  kg/animal/año) producida por la gestión de estiércol según establo y sistema de producción en la Irrigación de Majes ..... 24

### Tabla N° 04

Promedio en la emisión de metano ( $\text{CH}_4$  kg/animal/año) producida por la gestión de estiércol de vacunos lecheros según sistema de producción en la Irrigación Majes ..... 24

### Tabla N° 05

Cantidad de deyecciones producidas por animal/día, según categoría ..... 35

### Tabla N° 06

Incremento del contenido en humus (%) ..... 37

### Tabla N° 07

Ejemplo de unidades de compostaje ..... 44

### Tabla N° 08

Ingredientes, cantidades y materiales para la producción de abono líquido casero ..... 52

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

### Gráfica N° 01

Tasa de excreción de sólidos volátiles en establos lecheros diferenciados por sistemas de producción en la Irrigación Majes ..... 21

### Gráfica N° 02

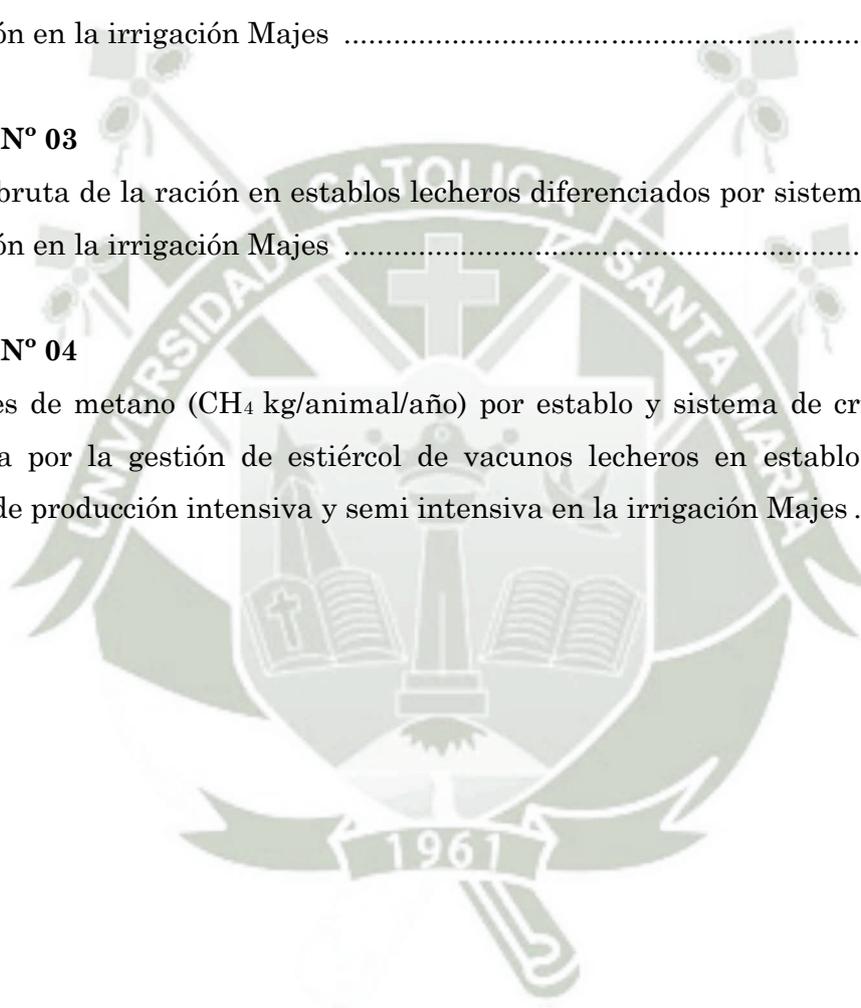
Digestibilidad de la ración en establos lecheros diferenciados por sistemas de producción en la irrigación Majes ..... 22

### Gráfica N° 03

Energía bruta de la ración en establos lecheros diferenciados por sistemas de producción en la irrigación Majes ..... 23

### Gráfica N° 04

Emisiones de metano ( $\text{CH}_4$  kg/animal/año) por establo y sistema de crianza producida por la gestión de estiércol de vacunos lecheros en establos con sistema de producción intensiva y semi intensiva en la irrigación Majes ..... 25



## RESUMEN

Se diseñó un estudio para determinar la emisión de metano, originado por la gestión del estiércol en vacunos lecheros en dos sistemas de producción y alimentación en la Irrigación Majes – Arequipa. Para tal efecto se procesó y analizó información colectada de 24 establos de la Irrigación Majes diferenciados por sistema de producción; dicha información correspondió a las características de manejo, composición de la dieta e indicadores productivos de los animales bajo estudio. Se estimó la emisión de metano producida por la gestión de estiércol con las ecuaciones proveídas por el IPCC mediante la metodología del Nivel 2 (Tier 2) del Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático (IPCC), entidad oficial que regula e informa periódicamente las metodologías a nivel mundial para estimar la emisión de gases de efecto invernadero. Para el análisis de la información se aplicó un diseño completamente aleatorizado a una probabilidad del 95%, utilizando el programa SAS V9.0 (SAS, 2002). Con relación a los resultados hallados, se encontró que la tasa de excreción, digestibilidad y energía bruta proveniente de la gestión del estiércol por el sistema intensivo fue de  $5.78 \pm 0.78$ ,  $70.45 \pm 2.30$  y  $361.41 \pm 42.05$  MJ/día, respectivamente, indicadores principales que originaron una emisión de  $\text{CH}_4$  de  $0.99 \pm 0.13$  kg  $\text{CH}_4$ /animal/año. La tasa de excreción, digestibilidad y energía bruta proveniente de la gestión del estiércol por el sistema semi-intensivo fue de  $6.78 \pm 0.89$ ,  $63.13 \pm 2.30$  y  $338.80 \pm 35.95$  MJ/día, respectivamente, indicadores principales que originaron una emisión de  $\text{CH}_4$  de  $1.16 \pm 0.15$  kg  $\text{CH}_4$ /animal/año. Comparativamente, la gestión del estiércol bajo condiciones de la irrigación Majes, varía significativamente ( $P < 0.05$ ), influenciado por el sistema de producción,  $0.99 \pm 0.13$  kg  $\text{CH}_4$ /animal/año y  $1.16 \pm 0.15$  kg  $\text{CH}_4$ /animal/año; para el sistema intensivo y semi intensivo, respectivamente. Estos resultados habrían sido regulados por la calidad de la dieta, principalmente en términos de proteína cruda y la digestibilidad de la dieta que habría previsto la formación de bacterias metanogénicas en el estiércol, así como la disposición de las excretas en cada sistema, bajo condiciones de la irrigación Majes.

## ABSTRACT

A study was designed to determine methane emissions, caused by the management of dairy cattle manure in two feeding systems, Majes Irrigation - Arequipa. To this end was processed and analyzed data collected from 24 farms from Majes Irrigation in differentiated production system; such information corresponded to the handling characteristics, diet composition and animal production indicators under study. Methane emissions produced by manure management with the equations provided by the IPCC methodology by Level 2 (Tier 2) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the official entity that regulates and reports regularly the methodologies estimated at worldwide, and estimate the emissions of greenhouse gases. For the analysis of the information, were used a completely randomized design to at 95% probability, using SAS V9.0 (SAS, 2002) program. With regard to the results found, it was found that the rate of excretion, digestibility, gross energy and emission of CH<sub>4</sub> from manure management for the intensive system was  $5.78 \pm 0.78$ ,  $70.45 \pm 2.30$  and  $361.41 \pm 42.05$  MJ/day, respectively; main indicators resulted in a  $0.99 \pm 0.13$  emission kg CH<sub>4</sub>/animal/year. Excretion rate, gross energy digestibility and CH<sub>4</sub> emission from manure management for the semi-intensive system was  $6.78 \pm 0.89$ ,  $63.13 \pm 2.30$  and  $338.80 \pm 35.95$  MJ/day, respectively, resulted in a major indicators issuing  $1.16 \pm 0.15$  kg CH<sub>4</sub>/animal/year. Comparatively, manure management under conditions of from Majes irrigation varies significantly ( $P < 0.05$ ) influenced by the feeding system,  $0.99 \pm 0.13$  kg CH<sub>4</sub>/animal/year and  $1.16 \pm 0.15$  kg CH<sub>4</sub>/animal/year; for intensive and semi-intensive file system. These results would have been regulated by diet quality, mainly in terms of crude protein and digestibility of the diet would have regulated the formation of methane forming bacteria in manure and excreta disposal in each system under the Majes irrigation conditions.

## INTRODUCCIÓN

El metano ( $\text{CH}_4$ ) es uno de los gases de efecto invernadero más importantes que se emiten a la atmósfera debido a las actividades antropogénicas, después del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Los gases de efecto invernadero son constituyentes de la atmósfera, capaces de absorber las radiaciones y emitir las posteriormente<sup>1</sup>. El  $\text{CH}_4$  es un compuesto molecular que se encuentra en abundancia en la atmósfera, con unas propiedades radiactivas tales que le confieren una capacidad elevada de absorción de la energía infrarroja, contribuyendo así al calentamiento global.

Al margen de tener actividad como un gas de efecto invernadero, el metano ( $\text{CH}_4$ ) afecta la composición química de la atmósfera, influyendo en la concentración del ozono, del radical hidroxilo y del monóxido de carbono (O'Neill 1994; Winfield 1995).

El metano reacciona con átomos de cloro en la estratosfera para formar cloruro de hidrógeno ( $\text{CH}_4 + \text{Cl} \rightarrow \text{CH}_3^* + \text{HCl}$ ), una especie inactiva en las condiciones dadas en esa región de la atmósfera terrestre (Baird, 2001) y evita la participación del átomo de cloro en la destrucción de la capa de ozono.

En la troposfera el metano reacciona, en forma competitiva por el radical hidroxilo libre, con el monóxido de carbono, dando origen a otras especies de efecto invernadero como agua y dióxido de carbono. Actualmente el metano, tanto el generado por fuentes naturales como antropogénicas, ha sido señalado, junto con el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y los compuestos halogenados del carbono (CFC), como factor de cambio en las propiedades de la atmósfera de la Tierra, en donde juega un doble papel, como contribuyente al calentamiento de la atmósfera por su potencial de calentamiento 21 veces mayor que el del dióxido de carbono (Wuebbles y Edmonds, 1991) y, por otra parte, como energético derivado de un recurso renovable, la biomasa.

Entre los diferentes mecanismos biológicos que se producen en la naturaleza, la transformación de la materia orgánica por microorganismos anaerobios (fermentación), es el que mayor importancia tiene en el mantenimiento de la vida en nuestro planeta por su contribución al ciclo del carbono. La formación de metano y dióxido de carbono es la característica más sobresaliente en la descomposición de la materia orgánica, proceso en el que microorganismos metanógenos combinan su capacidad de oxidar el

---

<sup>1</sup> SEINFELD, J.H. AND S.N. PANDIS. 1998. Atmospheric chemistry and physics of air pollution. 1326 p.

hidrógeno y de reducir el dióxido de carbono, en la última de cuatro etapas distinguibles en las que se tienen, dependiendo de la materia orgánica fermentada, variaciones en el pH.

En una primera etapa de fermentación, bacterias anaerobias hidrolizan las proteínas, grasas y polisacáridos para generar aminoácidos, péptidos de cadena corta, monosacáridos, disacáridos y ácidos grasos. En una segunda etapa de este proceso se da la transformación de los productos de la hidrolización a alcoholes simples y diversos ácidos orgánicos como el acético, el propiónico y el butírico, mediante la participación de bacterias acetógenas, la cual correspondería a la tercera etapa. En la cuarta etapa, donde se genera metano, el pH y la temperatura tienen una influencia decisiva en la rapidez y cantidad de metano generado, por lo que, cuando el objetivo es la producción y cuantificación de este hidrocarburo, el pH habrá de mantenerse en un intervalo de 6 a 7.8 unidades y la temperatura por encima de 10 °C (Safley *et al.*, 1992).

La concentración de CH<sub>4</sub> en la atmósfera ha aumentado rápidamente y se ha multiplicado por dos desde el comienzo de la Era Industrial (Steele *et al.*, 1992, Moss *et al.*, 2000; IPCC, 2001, Wuebbles y Hayhoe, 2002). Además, el CH<sub>4</sub> tiene un potencial de calentamiento de la tierra 23 veces superior al CO<sub>2</sub> (IPCC, 2001), es decir, que cada kilo de CH<sub>4</sub> liberado a la atmósfera contribuye al calentamiento global relativo tanto como la emisión de 23 kg de CO<sub>2</sub>, calculado para un horizonte temporal de 100 años.

La ganadería emite CH<sub>4</sub> debido fundamentalmente a la fermentación entérica y en menor medida a la fermentación de las deyecciones ganaderas<sup>2</sup>. La ganadería es responsable de cerca del 23% de las emisiones de CH<sub>4</sub> globales de origen antropogénico<sup>3</sup>, debidas mayoritariamente a la digestión de los rumiantes, que emiten CH<sub>4</sub> durante la digestión del alimento en el rumen, figurando el ganado bovino como principal responsable, seguido del ovino<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> MONTENY, G.J., C.M. GROENESTEIN AND M.A. HILHORST.2001. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Cycl. Agroecosys.*, 60: 123-132.

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> CRUTZEN, P.J., I. ASELMANN AND W. SEILER. 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus*, 38 (B): 271-284.

El ganado vacuno emite  $\text{CH}_4$  como consecuencia de la fermentación de los alimentos en el tracto digestivo. Este gas se emite como subproducto de la fermentación microbiana de los hidratos de carbono, fundamentalmente en el rumen pero también en el intestino grueso, por la cual son degradados a ácidos grasos volátiles que son absorbidos. La fermentación de los hidratos de carbono resulta en la producción de hidrógeno que las bacterias metanogénicas utilizan para reducir el carbono del  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$  (Moss *et al.*, 2000). Este  $\text{CH}_4$  es emitido a la atmósfera principalmente mediante eructos, y en menor medida a través de la respiración o de flatulencias.

La emisión de  $\text{CH}_4$  depende de factores intrínsecos del animal (peso, edad y especie), así como extrínsecos relacionados con el alimento (composición e ingestión). Es debido al tipo de aparato digestivo y a la presencia del rumen en los rumiantes, así como a las poblaciones de bacterias y protozoos existentes, que estos animales emiten significativamente mayores cantidades de  $\text{CH}_4$  durante la digestión que los no rumiantes o monogástricos<sup>5</sup> (Crutzen *et al.*, 1986; Moss *et al.*, 2000). Los animales más jóvenes presentan tasas de conversión de  $\text{CH}_4$  menores que los animales adultos, debido fundamentalmente al menor número y actividad de microorganismos ruminales encargados de la fermentación. Además, la erutación de  $\text{CH}_4$  en animales jóvenes comienza normalmente al mes de nacer<sup>6</sup>.

Aunque las enfermedades humanas ocasionadas por excretas animales no son frecuentes, en granjas avícolas los trabajadores pueden presentar asma, pulmonía y enfermedades oculares (irritación) cuando la ventilación en las granjas es deficiente. Otro riesgo de enfermedades para la población humana es el consumo de agua contaminada con: 1) estiércol conteniendo bacterias patógenas y la más común es *Escherichia coli* que causa diarrea y gases abdominales (LeJeune y Wetzel, 2007); 2) contenidos altos de nitratos que reducen la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, conocida como metahemoglobinemia (Miner *et al.*, 2000); 3) hormonas, principalmente estrógenos, relacionadas con una reducción en la cantidad de espermatozoides en humanos (Sharpe y Skakkebaek, 1993). El impacto ambiental como generación de gases de efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua y sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivo ocasionado por excretas de ganado, dependerá en gran medida de la especie pecuaria, del sistema de alimentación y del manejo del estiércol.

<sup>5</sup> JENSEN, B.B. 1996. Methanogenesis in monogastric animals. *Environ. Monit. Assess.*, 42: 99-112.

<sup>6</sup> ANDERSON, K.L., T.G. NAGARAJA, J.L. MORRILL, T.B. AVERY, S.J. GALITZER AND J.E. BOYER. 1987. Ruminant microbial development in conventionally or early-weaned calves. *J. Anim. Sci.*, 64: 1215-1226

Los estudios comparativos de impacto ambiental entre sistemas de producción animal extensivos y tecnificados son escasos. Thomassen *et al.* (2008) sugieren que los sistemas de producción de leche de tipo orgánico impactan menos al agua y al suelo, pero emiten más gases de efecto invernadero, comparados con los sistemas de producción de leche convencionales. Sin embargo, los resultados son inciertos porque en su mayoría se basan en el concepto de cantidad y no de eficiencia. Por ejemplo, los contaminantes de la cadena productiva de la industria lechera deberían evaluarse considerando aquellos provenientes de la producción de cultivos y granos, producción y transporte de leche, procesamiento, empaque, distribución, venta al detalle, consumo y eliminación.

La aplicación de estiércol en tierras de cultivo proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno y fósforo en el suelo; el nitrógeno del estiércol se encuentra principalmente en forma de amoníaco y las plantas lo usan como nutriente (Miner *et al.*, 2000). A pesar de ello, la valoración del estiércol como fertilizante orgánico, comparada con la de fertilizantes químicos, es mínima. Por sus características orgánicas, el estiércol aumenta la capacidad de retención de agua, el intercambio catiónico y la filtración de agua al subsuelo, y reduce la erosión. Además, la fracción líquida del estiércol ayuda a disminuir las pérdidas de nitrógeno, carbono y azufre en sus formas gaseosas, en el suelo (Capulin *et al.*, 2001), así puede reducir el uso de fertilizantes químicos y, por tanto, el impacto ambiental (Bouwman y Booi, 1998).

Como se indicó, los constituyentes inorgánicos de importancia ambiental contenidos en la excretas son nitrógeno y fósforo, pero es importante conocer sus concentraciones porque el método de fertilización, la combinación con otros fertilizantes, la velocidad de descomposición y sus posibles factores de riesgo como contaminantes, dependerán de ellos (IPCC, 2006). Según ASABE (2005), los volúmenes promedio de estiércol fresco generados cada día son 0.102 kg/pollo de engorda, 0.270 kg/pavo, 4.7 kg/cerdo de engorda, 22 kg/bovino de engorda, 38 kg/vaca seca y 68 kg/vacas lactante. La digestión anaeróbica del estiércol produce gases que en su mayoría son metano (60 %), bióxido de carbono (39 %), y trazas (0.2 %) de óxido nitroso (Bekkering *et al.*, 2010).

El metano es un gas no tóxico, un biogás que contribuye significativamente al efecto invernadero. A inicios de la década de 1970, creció el interés en el uso de

biofermentadores para generar y capturar biogás para usar como biocombustible (NAS, 2001). Un proceso de biofermentación de las excretas reduce 66 % las emisiones de metano y óxido nitroso (Chadwick *et al.*, 2011) y 98 % los olores (Massé *et al.*, 2011), y resulta en beneficios ambientales y sociales.

El suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de nutrientes (nitrógeno, fósforo), microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos, y compuestos que interactúen con el sistema endócrino (hormonas esteroidales, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas) (Powers, 2009). En países donde las regulaciones ambientales son laxas o no existen, el estiércol se aplica al suelo continuamente, excediendo la capacidad de captación de nutrientes por los cultivos (Dietz y Hoogervorst, 1991). Esta sobrecarga de nutrientes en el suelo ocasiona su infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas (Miner *et al.*, 2000). Por ejemplo, las excretas bovinas frescas esparcidas en áreas de cultivo contienen nitrógeno en forma de nitratos y nitritos; la forma de acumulación de estos compuestos oxidados en el cultivo puede causar intoxicación en el ganado que los consume (Nicholson, 2007).

La expansión de la agricultura y ganadería intensiva se han establecido mayoritariamente en áreas con escasas de agua. El agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas, e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo (EPA, 2006).

El nitrógeno es abundante en el estiércol, y está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales (Miller, 2001; Reddy *et al.*, 1999). Debido a que el fósforo en el agua no se considera directamente tóxico, no se han establecido niveles estándares en el agua potable. Sin embargo, el fósforo tiene un impacto ambiental importante en los recursos hídricos porque vertido directamente en las corrientes o aplicado en dosis excesivas en el suelo, estimula el proceso de eutrofización el cual aumenta las plantas acuáticas, disminuye el oxígeno disuelto y varía el pH, afectando así la calidad del agua (EPA, 2000). Aunque no se ha reportado la concentración de nitrógeno y fósforo en los distintos cuerpos de agua, la cantidad de ellos lixiviados o arrastrados a mantos acuíferos

depende de la precipitación (duración), la percolación (los suelos arenosos presentan altas tasas de percolación) y la pendiente del suelo por donde se desplazan las escorrentías (Nelson, 1999).

Las descargas a la atmósfera provenientes del estiércol incluyen polvo, olores y gases producto de la digestión anaeróbica y descomposición aeróbica. El polvo se presenta principalmente en operaciones ganaderas en confinamiento en zonas áridas. Cuando la vegetación es completamente removida, se forma una capa de estiércol y el movimiento del ganado produce enormes nubes de polvo. El olor no presenta riesgos a la salud, pero la mayoría de la gente encuentra inaceptable los olores emitidos por el estiércol en zonas urbanas (Miner *et al.*, 2000).

Entre los contaminantes liberadas por el estiércol hacia la atmósfera destaca el amoníaco, así como otros gases de efecto invernadero (GEI) que incluyen metano y óxido nitroso. Las emisiones globales de metano entérico, metano de estiércol y de óxido nitroso son 113, 40 y 10 TgCO<sub>2</sub>Eq (EPA, 2005). El metano es un GEI 23 veces más potente que el CO<sub>2</sub>, y el estiércol contribuye con 16 % de las emisiones globales (IPCC, 2006). El metano emitido por el estiércol proviene del metano de la fermentación entérica capturado en las heces, y de la digestión anaeróbica de la materia orgánica del estiércol (De Klein *et al.*, 2008). El estiércol contribuye con 50 % del total de emisiones de amoníaco hacia la atmósfera, porque su tasa de volatilización es mayor a 23 % (BANR y BEST, 2003).

La intensificación de la producción ganadera aumenta la generación de estiércol, lo cual origina una gran cantidad de nutrientes desechados y concentrados en un área pequeña. Una alternativa viable para disminuir el impacto ambiental negativo de las excretas ganaderas es generar biogás, pero los costos de los equipos para capturar y utilizar este gas para generar electricidad son altos todavía. En EE.UU. y Canadá, la implementación y el cumplimiento de marcos regulatorios específicos sobre manejo y aplicación de excretas ganaderas, ofrecen múltiples beneficios ambientales a largo plazo, ya sea por el menor impacto ambiental, la generación de energía o por la participación en el mercado de bonos de carbono. La normativa de esta índole en Argentina, Chile, Colombia y México aún carece de estímulos por las buenas prácticas en el manejo de excretas ganaderas; por tanto, los gobiernos deben responsabilizarse de la monitorización periódica en los sistemas ganaderos para controlar las descargas

excedentes de contaminantes al ambiente y a los recursos naturales, y además deben promover las compensaciones por bonos de carbono.

En el caso del Perú, estudios previos determinaron que la mayor fuente de emisión por parte de ganadería corresponde a fermentación entérica y material fecal, ésta representa el 8.6% de la emisión total del país (CONAM, 2010 citado por Gómez, 2011). El mismo autor menciona que en el Perú, la emisión de CH<sub>4</sub> proveniente de ganado bajo sistemas al pastoreo es explicado por la pobre calidad del forraje (pasturas nativas alto andinas) que limita los sistemas de producción animal debido a condiciones medioambientales desfavorables, pobre manejo, bajos consumos así como baja eficiencia de utilización de nutrientes (Gómez, 2011)

El requisito medio ambiental mundial en la actualidad es la reducción de los gases de efecto invernadero, los sistemas de producción de bovinos de leche en la actualidad representan una fuente importante de producción de gases de efecto invernadero y emisión a la atmósfera, es el caso de la ganadería lechera en la Irrigación de Majes, una de las principales actividades productivas para el poblador de la zona.

El panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) proporciona ecuaciones de cálculo de las emisiones de gases, en el caso de Metano las pérdidas se expresan normalmente como fracción de la EB, y a este término se le conoce como Y<sub>m</sub>. Como se indica en las guías del IPCC<sup>7,8</sup>, el valor de Y<sub>m</sub> depende de la calidad y la digestibilidad de las distintas dietas. Dada la relación negativa que existe entre el Y<sub>m</sub> y la digestibilidad, se asume que a medida que aumenta la digestibilidad disminuye el Y<sub>m</sub>. Los valores de Y<sub>m</sub> que se encuentran en la bibliografía varían entre el 2% y el 12% de la energía ingerida para distintas dietas<sup>9</sup>, si bien los valores extremos corresponden a situaciones no usuales en la práctica. El IPCC (IPCC, 2006) propone unos valores de Y<sub>m</sub> para el ganado bovino que se encuentran entre el 2 y el 7,5%, correspondientes a digestibilidades entre 45 y 85%, dependiendo del tipo de alimento, lo que se resuelve planteando distintos tramos de digestibilidad para los forrajes (45-55%) los pastos (55-75%) y los alimentos concentrados (75-85%).

---

<sup>7</sup>IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 4. Agriculture. IPPC/OECD/IEA. Paris. 140 p.

<sup>8</sup> IPCC. 2006. 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.

<sup>9</sup> JOHNSON, D.E. Y G.M. WARD. 1995. Estimates of animal methane emissions. Environ. Monit. Assess., 42: 133-141

El factor de conversión debería ser actualizado para su aplicación en condiciones particulares de los sistemas de producción de leche en cada región y país, La estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero debe reflejarse en los Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera como un índice de monitoreo de la emisión de gases de efecto invernadero.

En el desarrollo de la presente investigación una limitante para la aplicación de las ecuaciones de IPCC ha sido el inadecuado y mal manejo de los registros productivos en la gran mayoría de los hatos lecheros investigados en la zona de estudio, siendo esta información muy relevante para adecuarlas a la metodología de estimación de emisiones de metano producidas por la gestión del estiércol en sistemas de producción de leche.

El presente trabajo de investigación despliega, en primer término, los Resultados y discusión del análisis de estimación de emisiones de metano producidas por la gestión del estiércol en sistemas de producción de leche como capítulo único, seguidamente se formula la propuesta a los sistemas de producción de leche de la Irrigación de Majes con el fin de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero producidas por la gestión del estiércol formulada en base a las conclusiones, recomendaciones y considerando una serie de actividades que involucran factores económicos y sociales.

Posteriormente y a manera de anexos se despliega el proyecto completo de investigación, las matrices de datos y sistematización, matrices de conteo, cálculos estadísticos, secuencia fotográfica, ecuaciones y coeficientes referenciados por el IPCC, entre otros.



## Emisiones de metano por la gestión del estiércol de vacunos lecheros en sistemas intensivos y semi-intensivos de producción

En la tabla N° 01 y 02, se presentan los valores individuales y promedios de tasa de excreción de sólidos volátiles (TSV), digestibilidad y energía bruta (EB), respectivamente. Luego del análisis estadístico, se halló diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la TSV y la digestibilidad, por el contrario sólo se hallaron diferencias numéricas en la EB ( $P > 0.05$ ).

**Tabla N° 01**  
**Valores utilizados para determinar la emisión de metano (CH<sub>4</sub>), por la gestión de estiércol de sistemas de producción de leche en la Irrigación Majes**

Tipo de sistema	Tasa de excreción de sólidos volátiles	Digestibilidad (%)	Energía Bruta (MJ/día)
Intensivo 1	6.49	68.80	384.24
Intensivo 2	6.46	70.20	400.12
Intensivo 3	5.37	71.04	342.57
Intensivo 4	6.39	70.57	401.10
Intensivo 5	5.74	68.98	341.45
Intensivo 6	6.50	71.67	423.40
Intensivo 7	6.18	68.15	358.14
Intensivo 8	5.62	74.31	404.05
Intensivo 9	4.52	72.31	301.04
Intensivo 10	6.40	67.51	363.89
Intensivo 11	5.53	67.85	317.59
Intensivo 12	4.22	73.95	299.27
Semi-intensivo 1	6.01	63.04	300.09
Semi-intensivo 2	6.67	65.71	359.35
Semi-intensivo 3	6.16	64.59	321.45
Semi-intensivo 4	8.83	61.39	422.19
Semi-intensivo 5	5.88	62.40	288.81
Semi-intensivo 6	7.28	62.95	362.90
Semi-intensivo 7	6.50	63.54	329.29
Semi-intensivo 8	5.77	65.15	305.54
Semi-intensivo 9	7.76	60.41	361.79
Semi-intensivo 10	7.21	61.71	347.46
Semi-intensivo 11	6.94	62.37	340.47
Semi-intensivo 12	6.30	64.35	326.28

Fuente: Elaboración personal

MJ = Mega Joules

Tabla N° 02

**Valores promedio utilizados para determinar la emisión de metano (CH<sub>4</sub>), por la gestión de estiércol de vacunos lecheros diferenciados por sistema de producción en la Irrigación Majes**

Sistema	Tasa de excreción de sólidos volátiles	Digestibilidad (%)	Energía Bruta (MJ/día)
Intensivo	5.78 <sup>a</sup> ± 0.78	70.45 <sup>a</sup> ± 2.30	361.41 <sup>a</sup> ± 42.05
Semi-intensivo	6.78 <sup>b</sup> ± 0.89	63.13 <sup>b</sup> ± 1.60	338.80 <sup>a</sup> ± 35.95

Fuente: Elaboración personal.

Letras diferentes en columnas denotan diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Respecto a estos valores, la FAO (1999), menciona que el metano es también liberado por desechos sólidos originados por la ganadería. Este se produce cuando las bacterias metanogénicas descomponen el material orgánico de los desechos sólidos de animales domesticados en un medio ambiente anaeróbico.

La cantidad de material orgánico que es susceptible de descomposición es descrita como el "*contenido de sólidos volátiles*". El volumen de metano producido por una cantidad dada de sólidos volátiles bajo condiciones anaeróbicas óptimas es caracterizado como la máxima capacidad de producción de metano del desecho animal. Debido a que las condiciones rara vez son óptimas, usualmente la producción de metano es menor que el máximo posible.

La cuota de la producción potencial máxima de metano obtenida del desecho, es en la práctica, una función de la manera en la cual el desecho es manejado. El manejo de desechos basado en sistemas líquidos proporciona un medio ambiente anaeróbico, así como la humedad requerida para la producción celular de bacterias metanogénicas y la estabilización de la acidez. Por el contrario el desecho animal que se deja secar en los campos se descompondrá con la presencia de oxígeno, minimizando la producción de metano.

De acuerdo a las particularidades de la gestión del estiércol en la zona de la Irrigación Majes, podríamos generalizar que la disposición de estiércol en el sistema intensivo, permitiría una remoción más rápida del estiércol en los corrales, a un nivel que la fermentación anaeróbica sería menor en comparación al sistema semi-intensivo, en el

cual el estiércol permanecería más tiempo en los campos de pastoreo con una mayor posibilidad de fermentación anaeróbica y liberación de CH<sub>4</sub>

La relación de la tasa de excreción de sólidos volátiles del estiércol con la digestibilidad de los alimentos, guardan una correlación entre ambos indicadores; al respecto, el IPCC (2006) menciona que el contenido de sólidos volátiles del estiércol equivale a la fracción de la dieta consumida que no se digiere y que, por ende, se excreta como materia fecal y, que, combinada con las excreciones urinarias, constituye el estiércol, bajo tales asunciones existiría una relación matemática inversa entre ambos indicadores. Al respecto, Un modelo más reciente, resultado de una importante recopilación de trabajos científicos, es el que presenta De Blas *et al.* (2008), estos autores observaron una correlación negativa entre la concentración energética de la dieta y la producción de CH<sub>4</sub>, resultados similares al presente estudio.

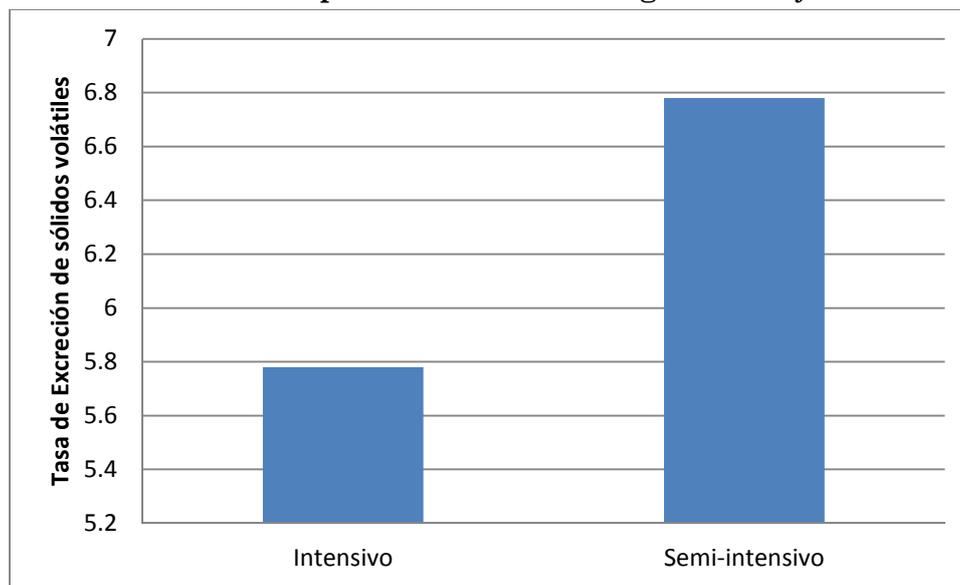
Esta afirmación relatada por el IPCC (2006), refrenda nuestros hallazgos, donde se encuentra que a niveles superiores de digestibilidad se disminuye la TSV, tal es el caso de la digestibilidad hallada en el sistema intensivo ( $70.45 \pm 2.30$ ) con una menor TSV ( $5.78 \pm 0.78$ ), por el contrario en el sistema semi-intensivo se observa una menor digestibilidad ( $63.13 \pm 1.60$ ) y una mayor TSV ( $6.78 \pm 0.89$ ).

Con relación a la EB hallada en esta investigación, presentó una mayor densidad energética a favor del sistema intensivo ( $361.41 \text{ MJ} \pm 42.05$ ) en contraste al semi-intensivo ( $338.80 \text{ MJ} \pm 35.95$ ); sin embargo, estos niveles no alcanzaron a presentar diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ). Bajo la consideración que la digestibilidad es definida como la fracción de alimento que no es recuperada en las heces, por lo tanto se supone asimilada por el animal. A su vez, es una buena estima para determinar la concentración energética del forraje y el consumo voluntario, luego del análisis de la composición nutricional del alimento suministrado. (Salcedo, 2002).

En los sistemas al pastoreo, entre el 20 al 50% de la Materia Seca (MS) consumida es retornada a la pastura como estiércol, lodos con excretas y lagunas de almacenamiento. El porcentaje de consumo de materia seca que retorna, depende de la calidad del alimento con bajos valores asociados en dietas de alta calidad y altos valores con dietas de baja calidad del alimento.

El metano proveniente del estiércol de los animales se origina en dos fuentes potenciales, el metano atrapado de la digestión entérica y de los derivados de la fermentación microbiana en el propio estiércol. Estas características relacionadas a la gestión del estiércol que origina el CH<sub>4</sub> para el caso de la irrigación Majes, habrían condicionado las diferencias halladas entre ambos sistemas de crianza y alimentación, tal como lo ha documentado McDowell (2008).

**Gráfico N° 01**  
**Tasa de excreción de sólidos volátiles en establos lecheros diferenciados por sistema de producción en la Irrigación Majes**



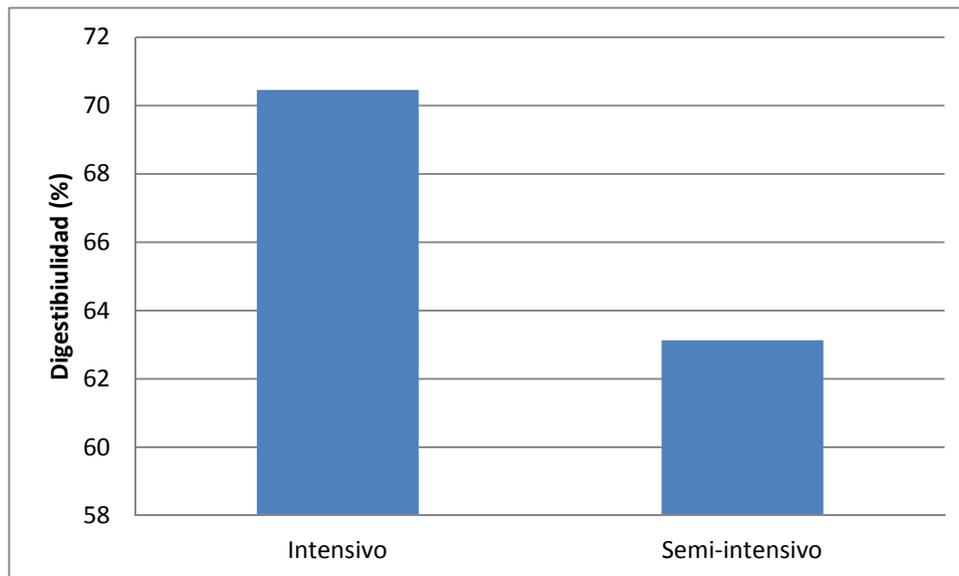
Fuente: Elaboración personal

El gráfico N° 01, representa los promedios de la tasa de excreción de sólidos totales en establos lecheros, y diferenciados por sistema de manejo o crianza. Se aprecia que el sistema intensivo produce una tasa menor ( $5.78 \pm 0.78$ ) en comparación al semi-intensivo ( $6.78 \pm 0.89$ ), y esta comparación presenta diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

El IPCC (2006), menciona que los sólidos volátiles constituyen el material orgánico del estiércol animal y consisten en fracciones tanto biodegradables como no-biodegradables. Las diferencias estadísticas de los valores hallados en la presente investigación habrían obedecido a las notables divergencias en la composición nutricional de la dieta suministrada a los animales. Al respecto, Gómez (2011), bajo condiciones de nuestro país, estableció que la calidad del alimento suministrado y el buen uso de nutrientes, permiten disminuir la emisión de CH<sub>4</sub> desde la fermentación

entérica y la originada en el estiércol, bajo las condiciones de nuestra investigación la calidad de la dieta, en términos de una mayor digestibilidad y mayor densidad energética, habrían originado estas diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ).

**Gráfico N° 02**  
**Digestibilidad de la ración en establos lecheros diferenciados por sistema de producción en la Irrigación Majes**

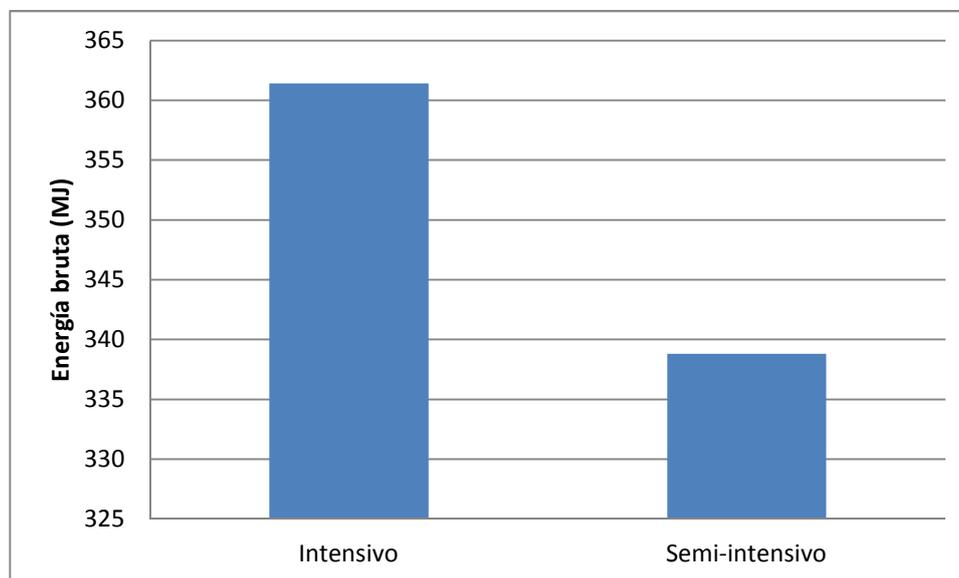


Fuente: Elaboración personal

En el gráfico N° 02, se muestra la digestibilidad de la ración en los establos lecheros bajo estudio, y diferenciados por sistema de crianza o manejo en la Irrigación Majes. La digestibilidad es un indicador directo de la calidad de la dieta y ello ha sido relacionado a la emisión de  $CH_4$ .

De acuerdo a los resultados de esta investigación existe una divergencia influenciada por el sistema de alimentación en la zona de estudio, esto ha sido reportado por investigadores precedentes (Obando, 2011). Dicho autor menciona que estas divergencias obedecen a la calidad de la dieta, el caso del sistema intensivo, se caracteriza por utilizar altos niveles de concentrados en su dieta (alimentos de alta digestibilidad) en contraposición a las dietas de sistemas extensivos donde el consumo se basa en forrajes, cuya digestibilidad es sensiblemente más baja en comparación a un alimento concentrado.

**Gráfico N° 03**  
**Energía bruta de la ración en establos lecheros diferenciados por sistema de producción en la Irrigación Majes**



Fuente: Elaboración personal

El gráfico N° 03 representa la energía bruta obtenida de la ración en establos lecheros diferenciados por Sistemas de Producción-alimentación en la Irrigación Majes. Podemos observar que la densidad energética de la ración de los sistemas intensivos alcanzó a  $361.41 \pm 42.05$  MJ/día, a diferencia del sistema semi intensivo donde se alcanzó  $338.80 \pm 35.95$  MJ/día. Estos valores no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ).

Estas diferencias numéricas relacionadas a la densidad energética de la ración, está relacionada directamente a la alimentación suministrada a los animales. Obando (2011), en un estudio similar y en la misma localización, menciona que las dietas de animales que reciben mayor cantidad de alimentos concentrados, aportan mayor densidad de energía en MJ por cada día, bajo las condiciones de nuestro estudio, ello ocurrió en animales del sistema intensivo.

**Tabla N° 03**

**Emisión de metano (CH<sub>4</sub> kg/animal/año) producida por la gestión de estiércol según establo y sistema de producción en la Irrigación Majes**

Sistema Intensivo	Emisión metano kg/animal/año	Sistema Semi-intensivo	Emisión metano kg/animal/año
1	1.11	1	1.03
2	1.11	2	1.15
3	0.92	3	1.06
4	1.10	4	1.52
5	0.98	5	1.01
6	1.12	6	1.25
7	1.06	7	1.12
8	0.96	8	0.99
9	0.78	9	1.33
10	1.10	10	1.24
11	0.95	11	1.19
12	0.72	12	1.08

Fuente: Elaboración personal

**Tabla N° 04**

**Promedio en la emisión de metano (CH<sub>4</sub> kg/animal/año) producida por la gestión de estiércol de vacunos lecheros según sistema de producción en la Irrigación Majes**

Emisión metano (kg/animal/año)	
Establo Intensivo	Establo Semi-intensivo
0.99a ± 0.13	1.16b ± 0.15

Fuente: Elaboración personal

Letras diferentes en columnas denotan diferencia estadística (p<0.05). (Duncan α=0.05)

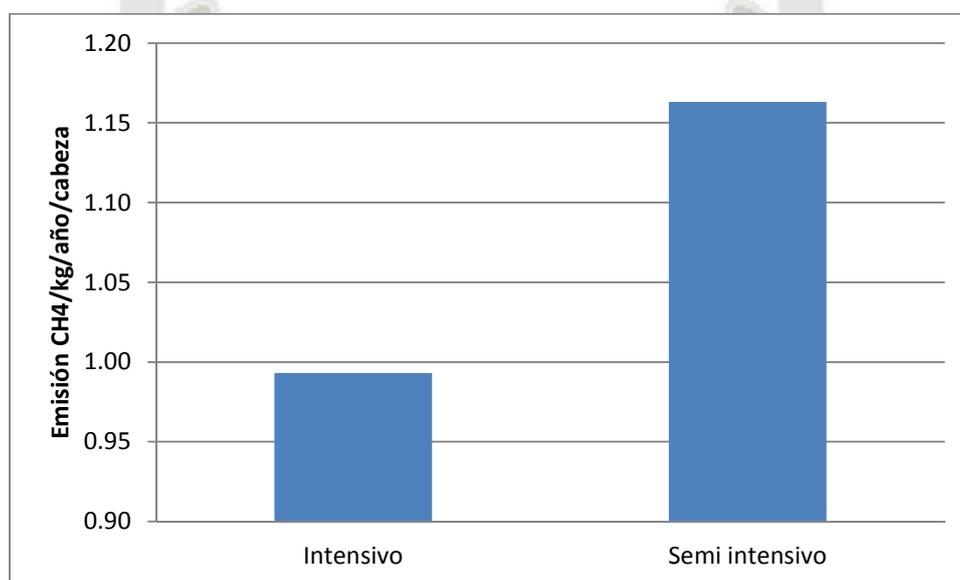
Las tablas N° 03 y 04, muestran los valores individuales (a nivel de establo) y promedio (a nivel de sistema), de la emisión de CH<sub>4</sub> kg/animal/año, diferenciados por cada sistema de alimentación. Se observó que en promedio las vacas del sistema intensivo produjeron 0.99 ± 0.13 en diferencia 1.16 ± 0.15 de CH<sub>4</sub> kg/animal/año. La emisión de CH<sub>4</sub> estimada presentó diferencias estadísticas entre ambos sistemas (P<0.05).

Numerosas investigaciones han sido reportadas respecto a la emisión de CH<sub>4</sub> originado por la gestión del estiércol en vacunos lecheros. 0,6 Gr (equivalente a 600 toneladas de metano por la gestión del estiércol en vacas en producción en el Perú (Fernández, et al., 2007).

Sin embargo, el potencial de la emisión de  $\text{CH}_4$  de la excreta animal varía dependiendo de la forma física (forma, tamaño, solido o líquido), la cantidad de materia seca, el clima (temperatura y humedad) y la cantidad de tiempo que permanece sin ser alterado (Saggar et al., 2004b).

Gráfico N° 04

**Emisión de metano ( $\text{CH}_4$  kg/animal/año) por establo y sistema de crianza producida por la gestión de estiércol de vacunos lecheros en Establos con Sistema de producción intensiva y semi intensiva en la Irrigación Majes**



En las Tablas 3 y 4 y Gráfico N° 4 se aprecia los valores de emisión de  $\text{CH}_4$ , obtenidos luego del análisis de información recabada en los establos lecheros bajo sistema intensivo y semi intensivo en la Irrigación Majes. Los valores estimados de emisión fueron inferiores a los reportados en Colombia por Helmuth *et al.* (2008), quienes reportan valores de 1.50 kg ( $\text{CH}_4$ /animal/año); sin embargo, no mencionan el sistema o las características productivas de los animales en este estudio. Del mismo modo, Ordoñez (2005) estimó una emisión de 0.69 kg  $\text{CH}_4$ /animal/año en vacunos lecheros, bajo condiciones de México, sin especificar el sistema de alimentación o la zona geográfica. Bajo condiciones de nuestro país, no se había reportado esta emisión, hasta este estudio. Al respecto, otros autores han reportado la importancia del  $\text{CH}_4$  emitido por la ganadería se traducen en las dos fuentes más importantes como son, en primer lugar la fermentación entérica y en segundo lugar las deyecciones ganaderas (Seinfeld y Pandis, 1998).

Investigadores precedentes, mencionan que la intensificación de la ganadería, ha provocado el aumento en la generación y concentración de estiércol vacuno, potencialmente contaminante. Esta intensificación de la producción animal, a nivel mundial, se inició durante la década del cincuenta y, en esencia, implica la concentración de animales por unidad de superficie y el aumento en el uso de insumos (Upton 1997). Hasta 1980, en Europa tuvo lugar un incremento sostenido de la producción, que acompañó el aumento de la demanda de productos pecuarios (EIPPCB 2001). Estados Unidos atravesó un proceso similar, con un incremento sostenido de los denominados “establecimientos de alimentación de animales en confinamiento” (Concentrated Animal Feeding Operations - CAFOs). Este nuevo escenario, a su vez, originó diversas reglamentaciones con el objeto de disminuir el impacto ambiental de estas nuevas prácticas al limitar el número de animales por superficie.

Considerando otros países, en Argentina la situación fue más reciente, y presentó algunas diferencias. La producción lechera, en particular, creció notablemente en las últimas décadas, a pesar de las cíclicas contingencias económicas, políticas y sociales de ese país. El crecimiento de la producción primaria en el período 1993-2003 ha sido aproximadamente del 36% (15-20% durante 2004), comparable a Nueva Zelanda que creció en igual período un 31% (Taverna, 2004). En los últimos años, en las cuencas tradicionales de la región pampeana Argentina, se intensificó la competencia por el recurso tierra, especialmente por una creciente demanda de la agricultura de escala (soja) y estos cambios están impactando en los sistemas lecheros.

Del mismo modo que ha ocurrido en la mayoría de los países productores de leche, existe una marcada tendencia hacia una mayor concentración de la producción. La sostenida disminución en el número de instalaciones ganaderas es compensada por un mayor tamaño de los rodeos o hatos, por incrementos de las producciones individuales y, en definitiva, por mayores escalas productivas (la producción promedio por instalación de ordeño se cuadruplicó entre fines de los 80 y la actualidad). Entre los problemas ambientales que ocasiona el estiércol vacuno se encuentran la contaminación de suelos y filtraciones a acuíferos así como la contaminación atmosférica por emisión de gases de efecto invernadero y vertidos en el suelo a nivel superficial, además de la dudosa gestión, ya que no existe un control de la valorización como fertilizante agrícola pudiendo producir un excesivo aporte de nitrógeno en el

terreno de cultivo (García y Pérez, 2010). Considerando que la producción de leche bajo condiciones locales sigue un patrón similar al observado en países como Estados Unidos y Argentina, este comportamiento de atomización de la crianza, podría generalizarse hasta nuestro país y especialmente hacia la Cuenca lechera del sur del Perú y específicamente a la irrigación Majes, donde existe una gran cantidad de animales en reducidas áreas de pastoreo.

Asimismo y con relación a la alimentación, otros autores mencionan que este es el factor que más influye en los cambios de emisión de  $\text{CH}_4$  desde fermentación entérica y el generado por la gestión del estiércol; como una guía genérica de la importancia relativa de esas dos fuentes de metano, estadísticas de 1992 en los EU indicaron una producción de 2.8 millones de toneladas métricas de metano provenientes de los desechos sólidos y 5.49 millones de toneladas métricas provenientes de fermentación entérica (Gonzales y Longoria, 2005). Estos hallazgos refrendan a los encontrados en nuestro estudio, donde establecimos que el sistema de manejo regula la emisión de  $\text{CH}_4$ .

Metano, óxido nitroso y dióxido de carbono, son importantes gases de efecto invernadero, del cual el estiércol es una significativa fuente de contaminación (US EPA, 2010). Aunque los efectos de las condiciones de almacenamiento y el tipo de alimentación sobre las emisiones de GEI, han sido investigadas (Jungbluth et al., 2001; Adviento-Borbe et al., 2010), estudios sobre efectos específicos de la proteína cruda, son limitados ((Külling et al., 2001).  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  son gases generados en el estiércol a través de la descomposición de materia orgánica fecal (Smith y Conen, 2004), de acuerdo a nuestros resultados, el sistema semi intensivo habría sido menos eficiente. La mayoría de los rumiantes dependen del consumo de forraje que muchas veces es de pobre calidad limitando la disponibilidad de proteína microbiana y energía e incrementado la emisión de  $\text{CH}_4$  (Leng, 1993). Sin embargo, Lee *et al.* (2012) en una investigación reciente, relacionaron un incremento del  $\text{CH}_4$  en vacas consumiendo dietas con baja cantidad de proteína cruda en comparación a dietas de alta cantidad de proteína cruda. Este hallazgo se corresponde con la cantidad promedio de proteína cruda consumida en el presente estudio por el sistema semi intensivo (16.15 %) en contraste con el sistema intensivo (17.05%).

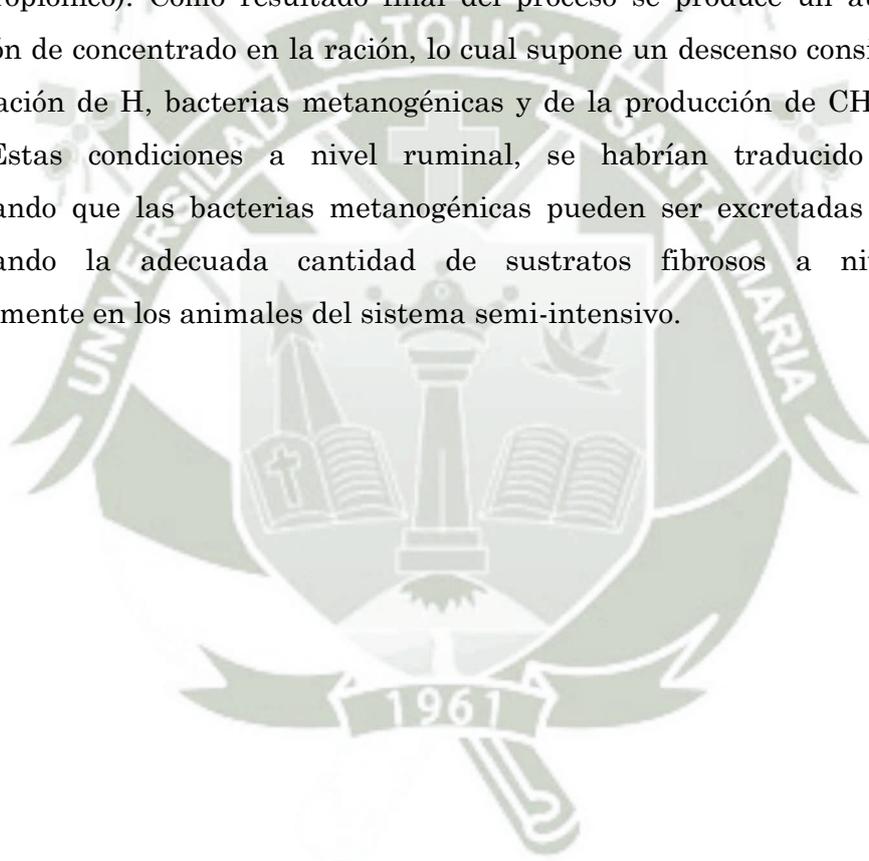
La composición del estiércol, que depende de la dieta de los animales, también afecta la cantidad de metano producido, cuanto mayor es el contenido energético y la digestibilidad, del mismo modo que en el caso de la proteína, la digestibilidad fue superior en el sistema intensivo en comparación al semi intensivo (70.45 y 63.13 % respectivamente).

Numerosas investigaciones han sido reportadas respecto a la emisión de  $\text{CH}_4$  originado por la gestión del estiércol en vacunos lecheros. El potencial de la emisión de  $\text{CH}_4$  de la excreta animal varía dependiendo de la forma física (forma, tamaño, sólido o líquido), la cantidad de materia seca, el clima (temperatura y humedad) y la cantidad de tiempo que permanece sin ser alterado (Saggar et al., 2004b). Estas condiciones también habrían regulado una mayor emisión en el sistema extensivo, donde la mayor permanencia del estiércol en el campo de pastoreo habría tenido una mayor oportunidad de producir fermentación anaeróbica y emisión de  $\text{CH}_4$ .

Al respecto, Holter (1997), mostró que la producción del  $\text{CH}_4$  de las bostas de estiércol (0.1 g/kg de bostas en materia seca), fue en promedio, seis veces más baja que en estiércol sólido y 17 veces más bajo que aquellos provenientes de efluentes. Como las bostas de estiércol son de menor tamaño, a menudo en porciones discretas, ellos pueden secarse y descomponerse relativamente rápido, reduciendo la cantidad de metano producido (Flessa et al., 2002). Por ejemplo, las emisiones desde bostas de estiércol de vacunos para carne, declinan rápidamente cuando éstas se secan y el  $\text{CH}_4$  desde vacunos alimentados al pastoreo, fue de alrededor de 0.5g/kg de MS de bosta (Flesa et al., 2002). El efecto del forraje de la dieta fue reportado por Jarvis *et al.* (1995), quien mostró un incremento de hasta 5 veces en la producción de  $\text{CH}_4$  desde las bostas (0.14–1.10 g  $\text{CH}_4$ /kg MS de bosta) de vacas alimentadas con forrajes bajos en la proporción de C/N (carbono/nitrógeno). La importancia de la forma física es demostrada con bostas de ovejas, las cuales a menudo depositan pellets discretos por encima de 20 mm de longitud.

Otros autores han graficado la emisión de  $\text{CH}_4$  diferenciado por sistema de alimentación y la relación forraje concentrado produciendo menor cantidad de metano; por su parte, De Blas et al., (2008), mencionan que estas diferencias en la relación concentrado:forraje originan una disminución del pH del contenido ruminal. Este efecto, se origina, por un lado de la mayor velocidad de fermentación del concentrado y

de otro lado por una disminución del poder tampón, asociado al consumo de forraje de forma directa (capacidad buffer de las pectinas o la lignina) o indirecta (a través de la inducción de la rumiación y de la entrada en el rumen de tampón fosfato y bicarbonato contenido en la saliva). 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 CH<sub>4</sub> 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). Como resultado final del proceso se produce un aumento de la proporción de concentrado en la ración, lo cual supone un descenso considerable de la concentración de H, bacterias metanogénicas y de la producción de CH<sub>4</sub> (Van Soest, 1994). Estas condiciones a nivel ruminal, se habrían traducido al estiércol considerando que las bacterias metanogénicas pueden ser excretadas al ambiente, considerando la adecuada cantidad de sustratos fibrosos a nivel ruminal, principalmente en los animales del sistema semi-intensivo.



## CONCLUSIONES

Primera: La emisión de CH<sub>4</sub> proveniente de la gestión del estiércol por el sistema intensivo fue de  $0.99 \pm 0.13$  kg/animal/año originado por una tasa de excreción de sólidos volátiles, digestibilidad y energía bruta de  $5.78 \pm 0.78$ ,  $70.45 \pm 2.30$  % y  $361.41 \pm 42.05$  MJ/día respectivamente.

Segunda: La emisión de CH<sub>4</sub> de la gestión del estiércol por el sistema semi intensivo fue de  $1.16 \pm 0.15$  kg/animal/año originado por una tasa de excreción de sólidos volátiles, digestibilidad y energía bruta de  $6.78 \pm 0.89$ ,  $63.13 \pm 2.30$  y  $338.80 \pm 35.95$  MJ/día respectivamente.

Tercera: Comparativamente, la gestión del estiércol bajo condiciones de la irrigación Majes, varía significativamente, influenciado por el sistema de manejo o crianza y alimentación,  $0.99 \pm 0.13$  kg CH<sub>4</sub>/animal/año y  $1.16 \pm 0.15$  kg CH<sub>4</sub>/animal/año; para el sistema intensivo y semi intensivo, respectivamente.

## RECOMENDACIONES

1. La presente investigación es una segunda etapa en la estimación de metano proveniente de los sistemas de producción animal quedando aún hacer investigaciones sobre la estimación del óxido nitroso y su efecto en el ciclo del nitrógeno en suelo y como gas de efecto invernadero, con lo que se podría sugerir políticas a seguir en la mitigación de emisiones de GEI buscando siempre una producción y productividad dentro del marco de eficiencia en los sistemas agropecuarios.
2. Validar la precisión de las ecuaciones de predicción para conocer las emisiones de  $\text{CH}_4$ , originadas por la gestión del estiércol en zonas donde se explotan rumiantes con fines productivos bajo condiciones de nuestro país, determinación que recaerá en entes reguladores de las emisiones de gases de efecto invernadero como son Municipalidades, Ministerio de Agricultura y Ministerio del Ambiente.
3. Estimar la emisión de  $\text{CH}_4$  originada por la gestión del estiércol, en diversas especies de interés productivo bajo condiciones de nuestro país.
4. Medir la emisión de  $\text{CH}_4$  utilizando otras metodologías como la técnica de  $\text{SF}_6$ , utilizada rutinariamente en otros países.
5. Promover la investigación de las emisiones de metano entéricas y por gestión del estiércol para el Camélido Sudamericano, especie símbolo de nuestro país y cuya crianza se da en condiciones distintas de manejo, alimentación y medio ambiente.



**PROPUESTA**

## **PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS A PARTIR DE EXCRETAS DE VACUNOS LECHEROS, COMO ALTERNATIVA PARA LA MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ORIGINADO POR LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL EN LA IRRIGACIÓN MAJES - AREQUIPA.**

### **I. Consideraciones preliminares**

En un comunicado de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), advirtió que mantener las políticas actuales llevaría a un calentamiento global de 3,5 grados, muy superior al objetivo internacional de dos grados, y eso tendría consecuencias nefastas de una dimensión impredecible. Por ejemplo: se fundiría el "permafrost" (capa de hielo permanente en superficie de la región ártica) con consecuencias "impredecibles" y se afectaría negativamente el aprovisionamiento de energía. De acuerdo con el Banco Mundial, el mayor impacto climático se produciría en América Latina: inundaciones, menos producción de alimentos (elevando la desnutrición), olas de calor sin precedentes y agravamiento de la escasez de agua.

Los diferentes y considerables impactos del sector ganadero mundial en el medio ambiente, busca la manera de llamar la atención de los profesionales y del público en general sobre la gran responsabilidad que la producción animal tiene en el cambio climático, en la contaminación atmosférica, en la degradación de la tierra, del suelo y del agua, y en la reducción de la biodiversidad.

Bajo tales consideraciones se proponen dos metodologías de procesamiento para la utilización racional del estiércol producido por la ganadería de vacunos lecheros en la irrigación Majes - Arequipa.

### **II. Objetivos**

#### **Objetivo general**

- Capacitar en el adecuado procesamiento y utilización racional del estiércol producido por la ganadería de vacunos lecheros en la irrigación de Majes. Arequipa.

### Objetivos Específicos

- Difundir los resultados del estudio a entes involucrados en el sector pecuario de la irrigación de Majes (autoridades del sector, organizaciones ganaderas y ganaderos productores de leche)
- Organizar eventos de capacitación en la producción de abonos orgánicos a partir de excretas de vacunos lecheros, como alternativa para la mitigación de gases de efecto invernadero originado por la gestión del estiércol.
- Concientizar y monitorear los factores de emisión de metano originado por la gestión del estiércol en sistemas de manejo intensivo y semi-intensivos, luego de ejecutado los programas de capacitación.

### III. Antecedentes

Uno de los mayores problemas a nivel global es el cambio climático. La cadena de alteraciones vinculadas al cambio climático afecta diversos ecosistemas por los desórdenes generados en la variabilidad climática o por la ocurrencia de eventos extremos como procesos de desertificación e inundaciones.

Es imprescindible tomar medidas globales ante el cambio climático, y medidas locales sobre los cambios microclimáticos, todas estas orientadas a la mitigación y adaptación ante los nuevos escenarios. En el gran afán de contribuir con la minimización de los GEI, es necesario establecer estrategias de actuación que permitan reducir las emisiones de gases (especialmente el sector ganadero). Entender el cambio climático está cargado de desafíos teóricos, conceptuales y empíricos. Para determinar cuáles son los efectos que ocasiona, en qué lugares y a qué niveles.

En América Latina, la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero no está en la industria o el transporte, que solo representan el 20% del total, sino que se originan en la agricultura, la deforestación y los cambios en el uso del suelo. Por ejemplo, en América del Sur las emisiones que provienen de la agricultura alcanzan el 22,9% del total y las de cambios en el uso del suelo y deforestación alcanzan el 53%. Se concluye que un 75,9 % del total de emisiones se originan desde esas prácticas rurales, representando 3 356,8 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>

equivalentes emitidos. La situación se hace más compleja ya que los principales gases involucrados en estos casos son el metano y el dióxido de nitrógeno, cuyos efectos en el calentamiento global son respectivamente 20 veces, y 300 veces mayores, a los del CO<sub>2</sub> (Gudynas y Ghione, 2010).

- **Los residuos ganaderos<sup>10</sup>**

El tratamiento de los residuos cada día reviste más importancia dada la dimensión del problema que representa, no sólo por el aumento de los volúmenes producidos, generado a su vez por una mayor intensificación de las producciones, sino también por la aparición de nuevos productos y principalmente por enfermedades que afectan la salud humana y animal que tienen directa relación con el manejo inadecuado de los desechos orgánicos. El estiércol bovino es el mayor desecho producido en los agro ecosistemas, un uso inapropiado puede crear problemas tales como olor, producción de nitratos y otros elementos contaminantes de cuerpos de agua.

**Tabla 05**  
**Cantidad promedio de deyecciones producidas por bovinos por animal/día, según categoría.**

Animal	Edad (Meses)	Deyecciones Producidas (Orina más heces) Kg./día
Ternero	3 – 6	7
Vaca	24 a +	28
Vaca Lactancia	24 a +	45

Fuente: Robertson, 1977

- **Potencial contaminante de los residuos ganaderos<sup>11</sup>**

El potencial contaminante de los residuos ganaderos viene determinado por los parámetros: materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y metales pesados, particularmente cobre.

<sup>10</sup> Robertson, A. M.: Farm wastes handbook

<sup>11</sup> Rodríguez, Claudia: Curso de Introducción a la producción animal

Destaca la materia orgánica porque la contaminación, que potencialmente puede producir es extremadamente elevada, sobre todo si la valoración contaminante se realiza en función de la carga orgánica, tan solo. Determinar y comparar cargas contaminantes exige expresar los resultados en determinadas unidades: suele realizarse en DBO<sub>5</sub>, DQO y COT. La DBO<sub>5</sub> mide la carga orgánica en función del consumo de oxígeno, por vía biológica en mg/l, a temperatura constante durante cinco días.

En cuanto a la DQO, determina el oxígeno consumido, por vía química, por las materias reductoras presentes en el efluente analizado, utilizando el permanganato de potasio como agente oxidante.

Por otra parte los residuos ganaderos son portadores de poblaciones microbianas que inciden negativamente en la salud humana y animal, constituyendo un riesgo que debe ser conocido. Se trata de bacterias, virus y hongos (Rodríguez, 2002).

- **Efectos sobre el medio**

Cuando el medio recibe el aporte de cualquier cuerpo extraño se produce un cambio en su equilibrio, que vuelve a restablecerse en un tiempo mayor o menor siempre y cuando el aporte no haya sido lo suficientemente intenso como para que el desequilibrio provocado sea irreversible o bien se origina un nuevo equilibrio que puede ser positivo. Estas alteraciones son originadas por los distintos componentes de los residuos.

- **Efectos sobre los suelos<sup>12</sup>**

**Materia orgánica:** los aportes de materia orgánica conducen a crear un equilibrio en el contenido del suelo en materia orgánica (humus), cuando se aportan residuos orgánicos es alterado el equilibrio existente dando lugar a uno nuevo y es precisamente este cambio el que puede alterar la calidad del suelo receptor. Indudablemente en suelos pobres en humus estable el incremento será positivo, pero en suelos con un humus elevado dará lugar a problemas tanto en cuanto a fertilidad como de contaminación.

---

<sup>12</sup> Rodríguez, Claudia. Curso de Introducción a la producción animal

No existe por lo tanto un criterio único sobre el nivel máximo a aportar, si existen datos sobre los efectos de la modificación del contenido en humus (Tabla 06).

**Tabla N° 06.**  
**Incremento del contenido en humus (%)**

Unidades de ganado mayor	+10 años	+20 años
1,5	0.2	0.3
3,0	0.4	0.6
4,5	0.6	0.9

Fuente: Rodríguez (2002)

Se ha comprobado que aportes como los reseñados no producen efectos negativos, salvo en el caso de las praderas, en las cuales aportes equivalentes a 4,5 U.G.M. pueden provocar efectos negativos, reduciendo el poder extractor de dicho cultivo, ello se traduce en una baja de la productividad. Los aportes de materia orgánica, procedentes de residuos ganaderos, incrementan los contenidos en nitrógeno. Un aporte de residuos ganaderos, equivalentes a 1,5 U.G.M. de ganado bovino, incrementa en un 0,01 % el nitrógeno de la capa arable, lo que representa 300 Kg de N/ha. La totalidad de este nitrógeno no puede ser extraído por los cultivos puestos que el nitrógeno de los residuos ganaderos se encuentra en tres fracciones: mineralizable (Nm), orgánica (No) y residual (Nr).

Es muy difícil que el nitrógeno pueda producir efectos nocivos en los suelos pues tan solo cuando el contenido en nitratos de un suelo se aproxima a 4 g/kg pueden presentarse fenómenos de toxicidad.

**Fósforo:** no suele originar fenómenos de toxicidad en los suelos, más bien al contrario el abonado fosforado es muy útil para todos los cultivos. Solamente pueden presentarse problemas en las praderas, y más que sobre ellas, sobre el ganado vacuno que pascie en praderas con un fuerte contenido en fósforo considerando que, más que por, el exceso de fósforo, es por un desequilibrio con otros macro y microelementos.

**Potasio:** en el caso del potasio la situación es parecida que para fósforo en cuanto a modificación y restablecimiento del equilibrio. Las necesidades en función de suelos

y cultivos oscilan entre los 50 y 200 kg/ha/año. Nuevamente es en el caso de aportes a praderas donde pueden presentarse problemas cuando las praderas receptoras son pastadas por ganado bovino, puesto que esta especie animal es muy sensible a las carencias de magnesio. El potasio tiene un cierto antagonismo con el magnesio provocando el exceso de potasio una carencia de magnesio en la sangre del ganado bovino.

**Cobre.** el cobre es utilizado como aditivo en la alimentación porcina. Las concentraciones máximas aceptadas son de 200 mg/kg de MS en las primeras siete semanas y de 125 mg/kg de MS entre la octava y la decimonovena semana. Prácticamente la totalidad del cobre ingerido es eliminado. Simultáneamente los cultivos pueden extraer entre 15 y 50 g. de Cu por ha y año lo que acarrea un enriquecimiento en cobre de los suelos, acumulándose en la capa arable dada su escasa movilidad. Bien es cierto que algunos investigadores estiman que el 50 % del cobre aportado se presenta bajo formas solubles y por lo tanto, esta fracción, es asimilada por los cultivos. Dado que un suelo normalmente contiene ente 5 - 15 ppm y que a partir de 50 ppm este elemento comienza a ser tóxico es fácilmente comprensible que el aporte de residuos de ganado porcino, realizados como vertido y no como reciclado, puede provocar graves daños a los suelos. Bien es cierto que en el momento actual tiende a suprimir este aditivo y se espera que en los próximos años, por mejora genética o por utilización de otros, su uso tiende a ser excluido en el sistema alimentario.

**pH:** el pH de las deyecciones animales oscila, como valor medio, entre el 6,7 del bovino de ordeño al 7, 0 del originado por el ganado porcino y el 8,0 en los residuos de bovino de engorde o cebo. El efecto de su aporte sobre el pH de los suelos es algo acidificante (Gómez Orea, 1998).

- **Efectos sobre las masas de agua**

**Aguas superficiales.** El principal efecto es la eutrofización, caso particular de polución, que se produce ante un aumento de disponibilidad de nutrientes, especialmente aquellos que constituyen factores limitantes para el desarrollo de organismos fotosintéticos como algas y macrófitas.

Una masa de agua pasa de un estado oligotrófico (de baja productividad) a otro eutrófico (de elevada productividad), favorecido principalmente por dichos nutrientes (fósforo y nitrógeno), y por acción de la temperatura del medio. El N y el P se encuentran en proporciones considerables en los residuos ganaderos, son precisamente ambos los que provocan los daños aludidos, puesto que la materia orgánica, salvo vertido directo, no produce problemas de contaminación.

**Aguas subterráneas.** Los compuestos orgánicos alcanzan las masas de agua subterráneas por filtración a través del suelo; la capacidad filtrante depende de varios parámetros: porosidad, capacidad de absorción, formación de compuestos solubles o insolubles, etc. En cuanto a la materia orgánica su influencia en la alteración de las aguas subterráneas es relativamente pequeña. El nitrógeno juega un papel distinto, el nitrógeno amoniacal es, los nitritos y nitratos, al ser muy solubles, se incorporan a las aguas de precipitación o riego, acompañándolas en su recorrido a través del suelo, alcanzando finalmente a las masas de agua subterráneas. El fósforo, ión ortofosfato, se combina con los iones Fe, Al y Ca dando lugar a compuestos poco solubles, siendo retenidos por el suelo y puestos a disposición de los cultivos. Las poblaciones microbiológicas, bacterias y virus, son retenidos por el poder filtrante del suelo, recorriendo solamente pequeñas distancias en el horizonte edáfico.

Como consecuencia se puede estimar que el verdadero parámetro contaminante de las aguas subterráneas está constituido por el nitrógeno, siendo oportuno incidir en las causas de su incidencia, como forma de actuar en su control. Anteriormente se ha aludido a las distintas fracciones de este elemento: nitrógeno mineralizable (Nm), nitrógeno orgánico (No) y nitrógeno orgánico residual (Nr). Cuando los residuos ganaderos son aportados a los suelos, los compuestos nitrogenados inician la mineralización. El nitrógeno amoniacal tiene una mineralización rápida, formándose en primer lugar nitritos y posteriormente nitratos, ambos son solubles, constituyendo el segundo la forma idónea de extracción por los cultivos. Esta mineralización es un proceso aeróbico en el que intervienen bacterias como *Azotobacter* y *Nitrobacter*. En medio anaerobio se provoca una desnitrificación que da lugar a la formación de nitrógeno que escapa a la atmósfera. Continuando con la mineralización, el nitrógeno orgánico pasa en primer lugar a forma amoniacal que

dará lugar primeramente a la formación de nitritos y posteriormente se formarán los nitratos.

Todo ello nos lleva a hacer una consideración fundamental. Si cuando finaliza la mineralización, formación de nitratos, existe en el suelo un cultivo que extraiga esta fracción, éstos serán extraídos por los cultivos, si por el contrario este cultivo no existe, los nitratos serán trasladados por las aguas de infiltración. Como consecuencia no todo el nitrógeno mineralizable es extraíble, en un abonado primaveral tan solo el 60 %, de esta fracción, es extraído por los cultivos. Del 40 % restante el 13,5 % será extraído al año siguiente, el 20 % se pierde por desnitrificación y el 66,5% por lixiviación. Ello nos permite determinar el balance de las posibles pérdidas según se realice el aporte en primavera o en otoño. Asimismo, en la contaminación de las masas de agua, no podemos obviar el papel que juega la escorrentía y la permeabilidad de los suelos en la contaminación de las masas de agua.

- **Efectos sobre la atmósfera**

Los efectos que los residuos ganaderos generan sobre la atmósfera están ligados a los componentes volátiles que emanan en los procesos de transformación de los componentes orgánicos de que están formados. Como es lógico la incidencia más intensa se producirá en la calidad atmosférica de los recintos donde se producen, acumulan o se aportan tales residuos. El origen de estos gases reside en la acción de determinados microorganismos anaerobios sobre: las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, dando lugar a compuestos volátiles y a gases con un grado determinado de nocividad: Irritante ( $\text{NH}_3$  y  $\text{H}_2\text{S}$ ) y asfixiantes ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ).

### **PROPIEDADES DEL ABONO ORGÁNICO FERMENTADO<sup>13</sup>**

La elaboración del abono orgánico se basa en procesos de descomposición aeróbica de los residuos orgánicos y temperaturas controladas orgánicos a través de poblaciones de microorganismos existentes en los propios residuos, que en condiciones favorables producen un material parcialmente estable de lenta

---

<sup>13</sup> De Claudia Rodríguez. Curso de Introducción a la producción animal

descomposición. La elaboración de este abono fermentado presenta algunas ventajas en comparación con otros abonos orgánicos (Rodríguez, 2002):

- No se forman gases tóxicos ni malos olores.
- El volumen producido se puede adaptar a las necesidades. No causa problemas en el almacenamiento y transporte.
- Desactivación de agentes patogénicos, muchos de ellos perjudiciales en los cultivos como causantes de enfermedades.
- El producto se elabora en un periodo relativamente corto (dependiendo del ambiente en 12 a 24 días).
- El producto permite ser utilizado inmediatamente después de la preparación. Bajo costo de producción.

#### PROCESO DE ELABORACIÓN DE ABONO ORGANICO FERMENTADO<sup>14</sup>.

En el proceso de elaboración hay dos etapas bien definidas:

**La primera etapa** es la fermentación de los componentes del abono cuando la temperatura puede alcanzar hasta 70-75 °C por el incremento de la actividad microbiana. Posteriormente, la temperatura del abono empieza a bajar por agotamiento o disminución de la fuente energética.

**La segunda etapa** es el momento cuando el abono pasa a un proceso de estabilización y solamente sobresalen los materiales que presentan mayor dificultad para degradarse a corto plazo para luego llegar a su estado ideal para su inmediata utilización.

#### PRINCIPALES FACTORES A CONSIDERAR EN LA ELABORACIÓN DEL ABONO ORGÁNICO FERMENTADO<sup>15</sup>

- **Temperatura.** Se halla en función del incremento de la actividad microbiológica del abono, que comienza con la mezcla de los componentes.

---

<sup>14</sup> Rodríguez, Claudia: Curso de Introducción a la producción animal

<sup>15</sup> Ibid.

Después de 14 horas del haberse preparado el abono debe de presentar temperaturas superiores a 50 °C.

- **La humedad.** Determina las condiciones para el buen desarrollo de la actividad y reproducción microbiológica durante el proceso de la fermentación cuando está fabricando el abono. Tanto la falta como el exceso de humedad son perjudiciales para la obtención final de un abono de calidad. La humedad óptima, para lograr la mayor eficiencia del proceso de fermentación del abono, oscila entre un 50 y 60 % del peso.
- **La aireación.** Indica la presencia de oxígeno dentro de la mezcla, necesaria para la fermentación aeróbica del abono. Se calcula que dentro de la mezcla debe existir una concentración de 6 a 10% de oxígeno. Si en caso de exceso de humedad los micro poros presentan un estado anaeróbico, se perjudica la aeración y consecuentemente se obtiene un producto de mala calidad.
- **El tamaño de las partículas de los ingredientes.** La reducción del tamaño de las partículas de los componentes del abono, presenta la ventaja de aumentar la superficie para la descomposición microbiológica. Sin embargo, el exceso de partículas muy pequeñas puede llevar a una compactación, favoreciendo el desarrollo de un proceso anaeróbico, que es desfavorable para la obtención de un buen abono orgánico fermentado. Cuando la mezcla tiene demasiado partículas pequeñas, se puede agregar relleno de paja o carbón vegetal.
- **El pH.** El pH necesario para la elaboración del abono es de un 6 a 7.5. Los valores extremos perjudican la actividad microbiológica en la descomposición de los materiales.
- **Relación carbono-nitrógeno.** La relación ideal para la fabricación de un abono de rápida fermentación es de 25:35 una relación menor trae pérdidas considerables de nitrógeno por volatización, en cambio una relación mayor alarga el proceso de fermentación (Rodríguez, 2002).

#### IV. Procedimientos potencialmente aplicables para la producción de abonos orgánicos a partir de excretas de vacunos lecheros en la irrigación Majes.

Considerando la importancia de la capacitación en aplicación de procedimientos para la producción de abonos orgánicos a partir de excretas de vacunos lecheros planteamos dos alternativas:

## 1. DISEÑO Y OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE AERÓBICO<sup>16</sup>

Conceptos que deberán ser considerados básicos para el diseño y operación de un sistema de compostaje aeróbico en camellones.

**Aspectos cualitativos:** es importante caracterizar adecuadamente los residuos que disponemos a compostar. Debemos identificar localmente fuentes de desechos que nos permitan reforzar el procedimiento sumado al del estiércol. De acuerdo a cada caso, se instrumentarán los procedimientos necesarios. Un aspecto muy importante a tener en cuenta es asegurarnos que los residuos estén libres de contaminantes químicos, en particular metales pesados. Esta situación no es frecuente en desechos provenientes de la actividad agropecuaria, pero puede presentarse en algunos residuos de origen agroindustrial y en residuos sólidos domiciliarios.

**Aspectos cuantitativos:** la cuantificación de los volúmenes que dispondremos para compostar, así como la frecuencia de ingreso de los mismos, es un dato de gran importancia, ya que nos permitirá calcular la necesidad de área de compostaje y determinar la Unidad de Compostaje.

Es aconsejable manejar medidas volumétricas y determinar los parámetros: Densidad (D), Masa (M) y Volumen (V), a partir de la fórmula  $D = M/V$ , expresando la Masa en toneladas (Ton.), y el volumen en metros cúbicos ( $m^3$ ).

**Unidad de Compostaje (Uc):** la Unidad de Compostaje, es la masa de residuos que nos permitirá la conformación de un camellón y que ingresará al sistema como una unidad independiente del resto. A título de ejemplo, supongamos el caso de un hipotético “Establo”, donde diariamente se generan 90 kg. día de excretas, con una Densidad = 0,5, tendremos entonces:

---

<sup>16</sup> OPS: Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos

**Tabla N° 07.**  
**Ejemplo de unidades de compostaje**

Densidad 0,5	GENERACIÓN DE RESIDUOS			
	Día	Semana	Quincena	Mes
Peso ton.	0,09	0,63	1,35	2,70
Volumen en m <sup>3</sup>	0,18	1,26	2,70	5,40

Fuente: OPS (1999)

Para este ejemplo, consideraremos como Unidad de Compostaje, una masa de 2,7 ton. y con un volumen de 5,4 m<sup>3</sup>.

**Diseño del Camellón o Parva:** no es aconsejable la conformación de parvas o camellones de pequeños volúmenes, ya que las fluctuaciones de temperatura en estos pequeños volúmenes son muy bruscas. No conforme camellones con base inferior a los 2 m (dos metros). Como regla general, tome como altura la mitad de la base, los que nos permitirá obtener una buena relación Superficie/Volumen.

A título de ejemplo, supongamos que tomamos como dimensiones del camellón las siguientes: base = 3 m/altura = 1,50 m., lo que nos da un volumen de 2,25 m<sup>3</sup> por metro lineal de camellón. Siguiendo con el ejemplo del establo, si el volumen mensual de residuos que disponemos es de 5,4 m<sup>3</sup> y la capacidad de carga del camellón diseñado es de 2,25 m<sup>3</sup> por metro lineal, el cociente entre estos dos volúmenes nos dará la longitud de la Unidad de Compostaje:  $5,4 \text{ m}^3 / 2,25 \text{ m}^3 = 2,4 \text{ m}$ .

**El Tiempo de Compostaje (Tc):** se entiende por Tiempo de Compostaje, el transcurrido desde la conformación de una parva o camellón hasta la obtención de Compost estable.

El Tc, varía según las características de los residuos a compostar, las condiciones climatológicas (temperatura, ambiente, % de humedad relativa, etc.); manejo físico químico; manejo microbiológico y características del producto final que se desea obtener. El Tc, es un parámetro que puede ser controlado y establecido con cierto grado de certeza a través del conjunto de técnicas descritas con anterioridad.

**Área de Compostaje:** el área donde se conforman las pilas y se lleva a cabo el proceso se denomina corrientemente canchas de compostaje o patios. En el momento de seleccionar el área destinada a las canchas debemos considerar los siguientes factores:

En lo posible estas áreas deben situarse en los puntos topográficos más altos del terreno. Nunca se ubicarán en depresiones del mismo. Es necesario que el área de las canchas presente un declive superior al 1 % hacia las cotas menores del predio, de esta forma es posible evacuar las aguas pluviales y coleccionar los líquidos lixiviados que se generan durante el proceso.

La impermeabilidad del suelo es otro factor a considerar, ya que es posible la contaminación de las aguas subterráneas. En suelos que no presenten una impermeabilidad natural adecuada, se deberá proceder a la impermeabilización de los mismos, así como también se impermeabilizarán los drenajes.

**Preparación de las Canchas:** una vez seleccionada el área de acuerdo a los criterios mencionados, se procederá a retirar de la misma, malezas, arbustos u otros elementos que interfieran con la operación del sistema. Posteriormente, se realizará la compactación y nivelación del terreno. Es conveniente que el área esté rodeada por una canaleta perimetral, donde desembocarán las canaletas interparvas, necesarias para la evacuación y posterior colecta de los líquidos lixiviados. El diseño del sistema de drenajes, admite diversas alternativas y dependerá de las características topográficas del predio y dimensiones del área de compostaje.

**Dimensión de la Cancha:** la dimensión de la cancha estará determinada por la Unidad de Compostaje ( $U_c$ ) y el Tiempo de Compostaje ( $T_c$ ). Volvamos al ejemplo anterior del “Establo” y asumamos un  $T_c = 90$  días. La conformación de las parvas la realizamos en forma mensual, es decir mensualmente ocupamos un área de base de parva de  $7,2 \text{ m}^2$  en 90 días, el área necesaria para la instalación de las tres parvas es de  $7,2 \text{ m}^2 \times 3 = 21,6 \text{ m}^2$ .

Debemos considerar además el espacio necesario entre parvas a los que llamaremos pasillos. Este espacio es necesario para manejar los camellones. Las dimensiones del mismo estarán sujetas a la forma en que se realicen las operaciones de

remoción y aireación. Si la operativa es manual, el ancho del pasillo puede situarse en el entorno de 2 a 2,5 m.

Si la operación es mecanizada (pala cargadora, tractor con pala), los pasillos tendrán el ancho suficiente para que la máquina pueda empalar perpendicularmente los camellones. Asumamos que para el ejemplo que estamos manejando, la operación se realice con un tractor con pala. El ancho del pasillo no será menor a los 4 m.

El número de pasillos se calcula como él (Nº de parvas - 1), + (el área correspondiente a la mitad del área de base de una parva). Esta última área es la que permite maniobrar con amplitud.

Si la longitud de las parvas es de 2,4 m.

El área necesaria para pasillos será de:  $2,4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 28,8 \text{ m}^2$

El área correspondiente a la mitad de área de una parva es:  $1,5 \text{ m} \times 2,4 \text{ m} = 3,9 \text{ m}^2$

El área fina de compostaje será entonces de:  $21,6 \text{ m}^2 + 28,8 \text{ m}^2 + 3,9 \text{ m}^2 = 54 \text{ m}^2$

### **Manejo del sistema**

Una de las reglas fundamentales a tener en cuenta para un sistema como el propuesto es mantener la independencia física de la Unidad de Compostaje (Uc). Nunca, debemos adicionar material nuevo a una Parva que ya ha sido conformada. Sólo cuando tenemos el material equivalente a la Uc, debemos instalar el Camellón.

Es muy importante llevar de cada Unidad de Compostaje, registros de los datos más relevantes. Fecha de conformación, relación C/N de entrada, temperatura del material antes de su ingreso al sistema, temperatura ambiente y todo dato que se considere que puede ser de valor para sistematizar el proceso. Los registros pluviométricos son de gran importancia. Aconsejamos instalar cercano a la Cancha un pluviómetro y llevar los registros correspondientes.

Delimite con marcas visibles, todas las dimensiones necesarias en la Cancha que le puedan servir como referencia para la movilización y reconfiguración de los

Camellones. Si bien, las dimensiones dadas en el ejemplo son geométricas, procure ajustarse lo máximo posible a las mismas. En la práctica, el material tenderá a explayarse, perdiendo las dimensiones iniciales. Esto es totalmente normal. Cuando reconforme los camellones conserve en lo posible las dimensiones de diseño originales.

**Aireación y Homogeneización de la masa en Compostaje:** este procedimiento, tiene dos objetivos: favorecer los metabolismos aerobios y procurar que el proceso se cumpla homogéneamente en toda la masa en compostaje. Esta operación se puede hacer tanto manualmente como mecánicamente. Siempre debe procurarse en los movimientos de las parvas, que el material perteneciente al núcleo de compostaje pase a formar parte de la corteza y éste del núcleo.

**Cuando airear y cuando regar:** no existen frecuencias preestablecidas de aireación y riego que resulten aplicables para todos los casos posibles. Las aireaciones excesivas, son tan perjudiciales como los riegos en exceso. Uno de los parámetros, que nos resultará de fácil determinación es la temperatura y es a partir de la misma que podremos en gran parte, ejercer un control sobre el proceso.

**Control de la Temperatura:** la temperatura debe ser tomada en el núcleo del camellón. Existen termómetros especialmente diseñados para este fin. Si no se cuenta con un termómetro de este tipo, pueden utilizarse termómetros para uso textil (teñidos), o bien termómetros para parafina, utilizados en laboratorios de histología. También existen instrumentos digitales. Considerando la longitud del camellón (2,4 m.) se recomienda tomar la temperatura en dos puntos equidistantes y tomar el valor promedio aritmético entre los dos puntos.

Como regla general y para conservar el instrumento que utilice, practique primero con una varilla metálica de mayor diámetro que el termómetro una perforación, y luego introduzca el instrumento. Marque el lugar donde practicó la perforación, para utilizarlo en una nueva oportunidad. Es conveniente, realizar más de una lectura por metro lineal de camellón y promediar los resultados.

**Control de Humedad:** para el control del contenido de humedad, puede aplicar el siguiente procedimiento:

- Tome con la mano una muestra de material.
- Cierre la mano y apriete fuertemente el mismo.
- Si con esta operación verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces podemos establecer que el material contiene más de un 40% de humedad.
- Si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, podemos establecer que su contenido en humedad es cercano al 40%.
- Sin el material no gotea y cuando abrimos el puño de la mano permanece moldeado, estimamos que la humedad se presenta entre un 20 a 30 % finalmente si abrimos el puño y el material se disgrega, asumimos que el material contienen una humedad inferior al 20 %.

Se recomienda realizar las aireaciones, cuando comienza a decrecer la temperatura, luego de haber alcanzado su valor máximo en etapa termogénica. Inmediatamente a la remoción del material la temperatura experimenta un descenso, y paulatinamente vuelve a subir hasta completar una nueva etapa termogénica.

Puede ser posible que sólo se cumpla una sola etapa termogénica o más de dos. Esto dependerá de múltiples factores. Si el material ha sido preparado y los camellones se han homogeneizado adecuadamente en el proceso de aireación, es frecuente que solo se presenten no más de dos etapas termogénicas. Si hay necesidad de riego es conveniente hacerlo en las etapas mesotérmicas. El riego debe ser lo más atomizado posible, para no producir cambios bruscos en la temperatura.

Este procedimiento de aireación y riego por control de temperatura, es una alternativa que tiene sus fundamentos en los grupos fisiológicos que intervienen, en los tipos de metabolismos y en los productos de estos metabolismos. En otras fuentes bibliográficas, recomiendan realizar una aireación o “volteo” una vez por semana durante las primeras cuatro semanas.

## El proceso de refinación

No todo el material que entra al sistema de compostaje se biodegrada con la misma velocidad. Muchos materiales, requieren por su estructura física y composición química mayores tiempos para perder su morfología inicial. Por esta razón, es muy frecuente que conjuntamente con el compost, se presenten restos de materiales en distintas etapas de biodegradación o bien el residuo original contenga aún componentes inorgánicos. Este caso se da cuando la materia prima es la fracción orgánica recuperada de los Residuos Sólidos Domiciliarios.

Para lograr un compost apto para su aplicación agronómica, sea en forma manual o mecánica, el mismo debe presentar una granulometría adecuada y homogénea y estar libre de elementos orgánicos o inorgánicos que dificulten su aplicación. Hay muchas alternativas técnicas para el refinado del compost: separación balística, centrífuga, o cribado (granulométrica). La experiencia indica que la separación granulométrica por cribado es sin duda la menos costosa de instrumentar, y la que ha dado mejores resultados. Las cribas o zarandas, pueden ser vibratorias o de rotación. En particular las rotatorias, presentan un mejor rendimiento cuando se trata de procesar volúmenes importantes.

El tamaño de malla de la criba dependerá de la granulometría que se desea obtener, no obstante para utilización agrícola se recomiendan mallas de 1 cm x 1 cm. Para que este proceso, se realice sin inconvenientes es fundamental que el compost presente un contenido en humedad inferior al 20%. Los procesos de refine se realizan por razones obvias bajo techo. Una vez culminado el proceso de compostaje, el material es trasladado al área de procesamiento y es convenientemente extendido en capas no superiores a los 30 cm., para favorecer la pérdida de humedad. Cuando el compost presente el contenido de humedad mencionado, estará pronto para su refine. De este proceso se produce un rechazo, que dependiendo de la materia prima utilizada y de la granulometría que se desea obtener, se puede presentar en el orden del 5 al 20 %. Para residuos de origen agrícola y agroindustrial, y para la granulometría indicada se debe estimar a los efectos de los cálculos un rechazo promedio del orden del 6 %. Para Compost producido a partir de la fracción orgánica recuperada de Residuos Sólidos Urbanos de recolección en masa, el rechazo se sitúa cercano al 20 %. Si el rechazo es

exclusivamente de desechos orgánicos, el mismo se ingresará nuevamente al sistema de compostaje.

### **Rendimientos**

En términos generales, durante el proceso de compostaje se produce una pérdida del orden del 6 a 10 % del volumen inicial de residuos, debido a los procesos bioquímicos y a la manipulación del material. A esta merma, se le debe adicionar la producida por los procesos de refinación.

### **Acopio y empaque**

Finalizado el proceso de Compostaje y la refinación del mismo, es conveniente acopiar bajo techo. Si no se dispone de la infraestructura necesaria, una alternativa es cubrir los acopios con materiales impermeables (por ejemplo, film de polietileno). El Compost expuesto a la intemperie, pierde rápidamente valores de sus nutrientes esenciales, por lavado y lixiviación. En referencia al empackado, son muchas las alternativas hoy disponibles que aseguran el mantenimiento de la calidad del producto. Se debe evitar, el empleo para el empackado de cualquier tipo de bolsa o recipiente que haya contenido agrotóxicos o cualquier otra sustancia química.

### **Aspectos sanitarios**

Si el compost ha sido debidamente procesado, el material final no ofrece mayores riesgos, salvo aquellos que puedan ser originados por elementos inertes cortopunzantes que puedan haber venido con la materia prima inicial, por lo que es recomendable la utilización de guantes anticorte, si manipula directamente el material. Las mayores precauciones deben tomarse con el material fresco, en las manipulaciones pre compostaje, más aún si se trata de excretas y/o estiércoles.

Se recomienda la utilización de guantes de goma, sobre los anticorte. Si el material toma contacto con los ojos, lave abundantemente con agua. Finalmente, no es conveniente, subir sobre las cúspides de los camellones activos para tomar temperaturas, o realizar otro tipo de registro. Recuerde que durante el proceso se producen emanaciones importantes de gases, que por un efecto chimenea tienden a

escapar por el lomo del camellón o parva. Algunos de estos gases en momentos puntuales del proceso se producen en concentraciones que pueden llegar a ser letales, en ambientes cerrados.

### **Aspectos ambientales**

Durante el proceso de compostaje se producen líquidos lixiviados que deben ser recolectados para su tratamiento. En emprendimientos donde se composten volúmenes significativos, debe preverse el diseño y construcción de una Planta de Tratamiento. No acopie residuos frescos, más allá de los que pueda ingresar de forma inmediata al sistema. Finalmente consulte a un experto acerca de la normativa y requisitos ambientales para este tipo de proyectos.

### **2.- ABONO LÍQUIDO CASERO<sup>17</sup>**

El abono líquido africano actúa no solamente como un abono foliar sino también como un repelente y “fungicida” foliar. Tiene las propiedades de las hormonas de crecimiento vegetal y mejora la vida en el suelo. Además de todos estos efectos, aparentemente los cultivos tratados con este abono líquido también desarrollan resistencia a las enfermedades de origen viral. Como fuente de nutrimentos es completo y tiene micro y macro compuestos orgánicos balanceados; también puede ser usado como catalizador para promover el crecimiento. Cuando se aplica en forma regular y en cantidades suficientes, no se requiere de otro abono. El uso del abono líquido es una forma de aprovechar al máximo los nutrimentos disponibles.

Los cultivos responden bien al abono líquido, incluso en suelos contaminados e inactivados por el uso de venenos. Cuando se aplica en cultivos deficientes nutricionalmente, el efecto de la aplicación es visible a las 24 horas. Para la preparación del abono líquido es preferible utilizar hojas de leguminosas por su contenido de nitrógeno (Restrepo, 1997)

---

<sup>17</sup> Restrepo, J.: Elaboración de abonos orgánicos con base a estiércol enriquecido con minerales y manejo de la nutrición y biofertilización para el cultivo de café orgánico

**Tabla N° 08.**  
**Ingredientes, cantidades y materiales para la producción de**  
**Abono líquido casero**

Ingredientes	Cantidades	Materiales
<b>Primera Etapa</b>		
Agua	180 litros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 recipiente plástico de 200 litros de capacidad</li> <li>• 1 recipiente plástico de 100 litros de capacidad.</li> <li>• 1 Cubeta plástica de 10 litros de capacidad</li> <li>• 1 palo para mover la mezcla</li> </ul>
Estiércol fresco	20 litros	
Melaza o jugo de caña	1(2) litros	
Hojas picadas de leguminosas	2 kilos	
Leche o suero	2 (4) litros	
<b>Segunda etapa</b>		
Biofertilizante preparado en la primera etapa	5 litros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 palo para mover la mezcla</li> </ul>
Agua	100 litros	

Fuente: Restrepo (1997)

#### **Preparación de la primera etapa**

En el recipiente plástico de 200 litros de capacidad, disolver 20 kilos de estiércol, 1 litro de melaza (ó 2 litros de jugo de caña), 2 litros de leche (o 4 litros de suero) y 2 kilos de hojas picadas en agua limpia. Revolver hasta obtener una mezcla homogénea; completar el volumen a 180 litros, agregando agua limpia. Tapar el recipiente y dejar en reposo en un lugar protegido del sol y la lluvia por 30 días revolviendo la mezcla diariamente. Después de ocho días la mezcla desarrolla un olor desagradable, por lo cual es mejor mantenerla bien tapada y alejada de la vivienda. Con el tiempo se desarrolla en la superficie de la mezcla una capa de espuma.

#### **Preparación de la segunda etapa:**

Disolver cinco litros del biofertilizante colado en 100 litros de agua, utilizando el recipiente de plástico de 100 litros de capacidad. Revolver perfectamente la mezcla. Aplicar inmediatamente sobre las plantas o sobre el suelo. En el cultivo de arroz, el abono líquido se puede mezclar con el agua de riego. Si el tratamiento se hace semanalmente se obtienen resultados excelentes.

## V. Actividades a realizar

### a. Diagnóstico de los sistemas de gestión del estiércol en la irrigación de Majes:

- Mediante la aplicación de encuestas, tabulación y análisis de las mismas se obtendrá la información necesaria para el inicio de la aplicación de la propuesta.
- Se considerará 20% de los ganaderos de la irrigación, seleccionados por conveniencia y considerando como fuente el Comité Regional de Productividad Lechera.
- Se estimará la cantidad de estiércol producido por animal y por hato, según categoría y sistema de manejo.
- Asimismo se calculará la cantidad a producir de abono orgánico en cada tipo y según las características propias del sistema de manejo.

### b. Difusión de resultados y prácticas actuales de gestión de estiércol

- Los resultados obtenidos por el análisis y evaluación de la gestión del estiércol serán consolidados y las conclusiones obtenidas serán publicadas y remitidas a las autoridades del sector agropecuario, así como otras organizaciones involucradas en los sistemas de producción de leche en la irrigación de Majes.
- Por otra parte con los resultados obtenidos se deben establecer normas que obliguen a los ganaderos de la zona a disminuir paulatinamente los niveles de contaminación a través de la mejora en la gestión del estiércol.

### c. Establecimiento de líneas de investigación que permitan disminuir la producción de GEI por gestión de estiércol

Estas líneas de investigación estarán orientadas a la producción de abonos orgánicos a partir de excretas de vacunos lecheros en la irrigación Majes – Arequipa, como alternativa para la mitigación de gases de efecto invernadero originado por la gestión del estiércol en la irrigación Majes - Arequipa, Perú.

**d. Capacitación a técnicos y ganaderos en adecuadas estrategias de gestión de estiércol en sistemas de producción de leche**

- En coordinación con las autoridades correspondientes del sector y las asociaciones de ganaderos se organizarán eventos en las zonas de producción de leche y según los sistemas de producción animal se les informará los resultados del diagnóstico realizado en la presente investigación.
- Con la participación de especialistas se enfocará charlas sobre gestión de estiércol y estrategias para la mitigación de gases de efecto invernadero originado por el manejo del estiércol en sistemas de producción de leche.
- Se gestionará el apoyo de instituciones estatales y privadas del sector pecuario para establecer programas de asistencia técnica a nivel de los ganaderos productores de leche en la zona de influencia de la irrigación de Majes.
- Se implementarán líneas de investigación que mitiguen la producción de gases de efecto invernadero originado por la gestión del Estiércol. Esto con la participación de Universidades y entidades involucradas en la investigación pecuaria.

**e. Monitoreo de factores de emisión de gases de efecto invernadero en los sistemas de producción de la irrigación de Majes.**

Periódicamente se muestrearán hatos lecheros de la irrigación de Majes para monitorear el avance en la mitigación de gases de efecto invernadero originado por la gestión del estiércol.

## VI. Cronograma de actividades

Actividad	Responsable	Semestre			
		I	II	III	IV
Diagnóstico de los sistemas de gestión del estiércol en la irrigación de Majes	Docente investigador				
Difusión de resultados y prácticas actuales de gestión de estiércol	Docente comunicador				
Establecimiento de líneas de investigación que permitan disminuir la producción de GEI por gestión de estiércol	Docente investigador				
Capacitación a técnicos y ganaderos en adecuadas estrategias de gestión de estiércol en sistemas de producción de leche	Docente comunicador				
Monitoreo de factores de emisión de gases de efecto invernadero en los sistemas de producción de la irrigación de Majes.	Jefe de proyecto				

## BIBLIOGRAFÍA

- Adviento-Borbe, M. A. A., E. F. Wheeler, N. E. Brown, P. A. Topper, R. E. Graves, V. A. Ishler, and G. A. Varga. 2010. Ammonia and greenhouse gas flux from manure in freestall barn with dairy cows on precision fed rations. *Trans. ASABE* 53:1251–1266.
- ASABE. 2005. Manure production and characteristics. ASAE Standard D384.2. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, MI. pp: 19.
- Baird C. (2001). *Química ambiental*, University of Western Ontario, Reverté, Barcelona, 622 p.
- BANR (Board on Agriculture and Natural Resources) and BEST (Board of Environmental Studies and Toxicology). 2003. *Air Emissions from Animal Feeding Operations: Current Knowledge, Future Needs*. The National Academic Press. Washington, D.C. USA. pp: 225.
- Bekkering, J., A. A. Broekhuis, and W. J. T. van Gemert. 2010. Optimisation of a green gas supply chain –A review. *Biores.Technol.* 101: 450-456.
- Bouwman, A. F., and H. Booij. 1998. Global use and trade of feedstuffs and consequences for the nitrogen cycle. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 52: 261-267.
- Bryant, M. P. 1974. Methane-producing bacteria. Pages 472–477 in *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 8th ed. R. E. Buchanan and N. E. Gibbons, ed. Williams & Wilkins, Baltimore, MD.
- Capulin, G. J., E. R. Nuñez, B. J. Etchevers, y C. G. Baca. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35:287-299.
- Chadwick, D., S. Sommer, R. Thorman, D. Fanguero, L. Cardenas, B. Amon, and T. Misselbrook. 2011. Manure management: implications for greenhouse gas emissions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167: 514-531.
- 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
- Dietz, F. J., and N. J. P. Hoogervorst. 1991. Towards a sustainable and efficient use of manure in agriculture: the Dutch case. *Environ. Resour. Econ.* 1:313-332.
- EIPPCB 2001. *Integrated pollution prevention and control (IPPC) reference document and best available techniques for the intensive rearing of poultry and pigs*. European IPPC Bureau, Seville, Spain.

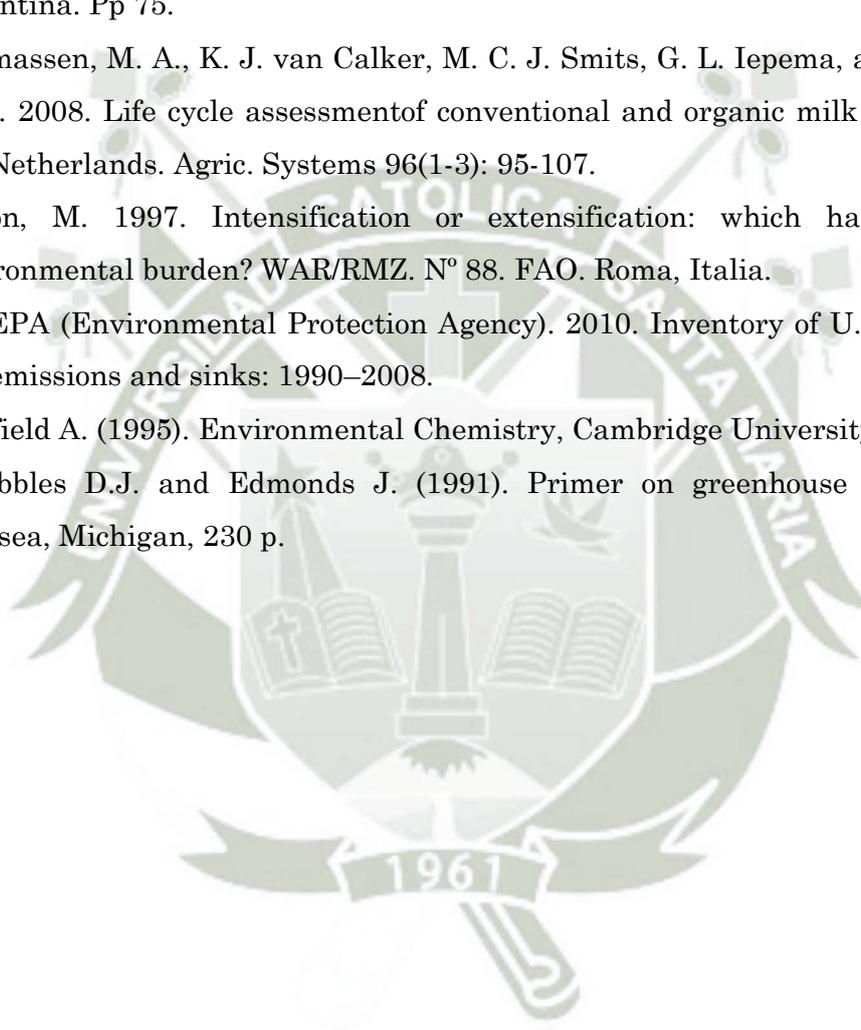
- EPA (Environmental Protection Agency). 2000. National Water Quality Inventory 2000 Report (EPA-841-R-02-001). United States Environment Protection Agency, USA. pp:207.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2005. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2005. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 393.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 greenhouse gas emissions: 1990- 2020. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 274.
- FAO. 1999. Incremento en las Emisiones de Gases Invernadero: Indicadores de Presión Estado Respuesta. Livestock, Environment and Development Initiative (LEAD) Animal Production and Health Division, FAO, 1999 Viale delle Terme di Caracalla. Rome – Italy.
- Fernández, M., García M y C. Gómez. 2007. Emisión de metano y sistemas de producción animal en el Perú: implicancias nutricionales. Sitio Argentino de Producción Animal.
- García, K. y M. Pérez. 2010. Codigestion de estiércol vacuno y lodos de depuradora: influencia de las condiciones de temperatura. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 14, 2010.
- Gómez Orea, D. 1998. Evaluación de Impacto Ambiental. Ed. Agrícola Española. Madrid.
- Gómez, C. 2011. Resúmenes del Simposio Internacional de Ganadería y Cambio Climático. UNALM. Lima, 14 de Julio de 2011.
- Gonzales, E. y R. Longoria. 2005. Variación del pH Durante los Procesos Anaerobios De Emisión de Metano por el Secado y la fermentación de Excretas de Ganado Bovino en el Centro de México. Rev. Int. Contam. Ambient. 21 (4) 159-170.
- Gudynas E. y S. Ghione. 2010. Agricultura y Ganadería, Biodiversidad, Cambio Climático: Estrechamente Vinculados. Lima: Revista de Agroecología, LEISA. 2010.
- Helmuth E. Nieves, H. y C. Olarte. 2008. Resumen Técnico Módulo Agricultura Inventario Nacional GEI AÑOS 2000 y 2004. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. IDEAM, PNUD. República de Colombia.
- Holter, P. 1997. Methane emissions from Danish cattle dung pats in the field. Soil Biology and Biochemistry 29, 31–37.

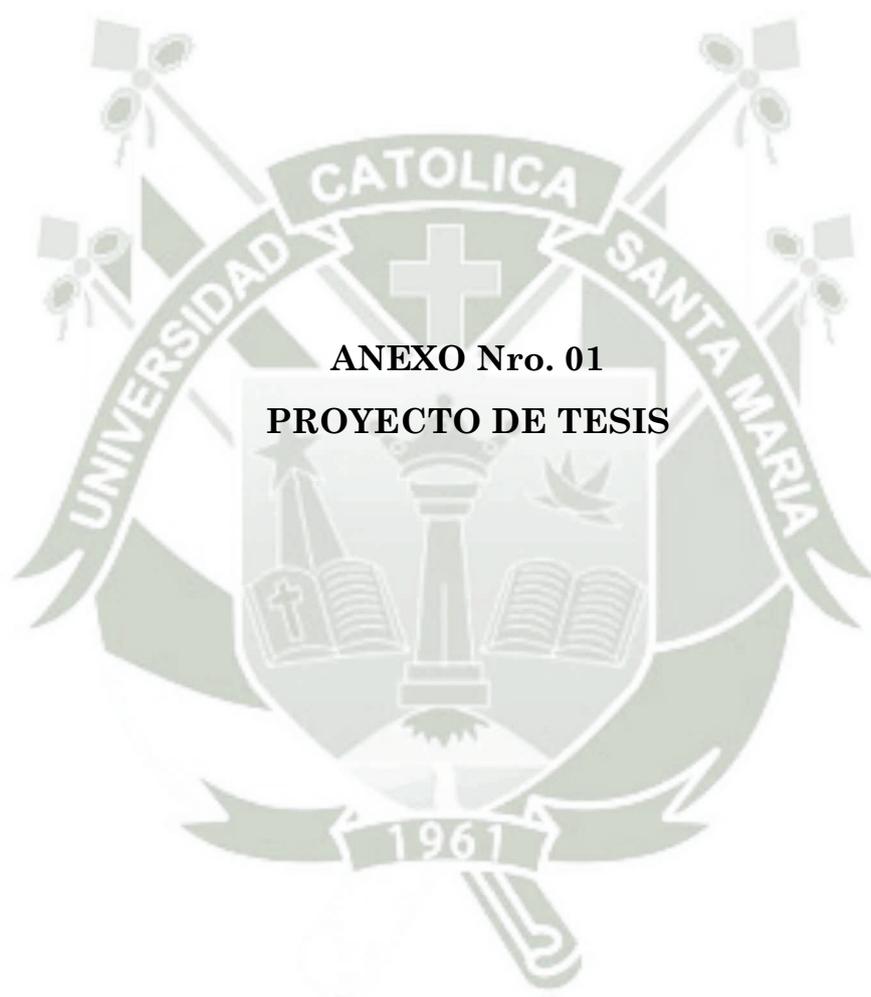
- Jungbluth, T., E. Hartung, and G. Brose. 2001. Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 60:133–145.
- Külling, D. R., H. Menzi, T. F. Kröber, A. Neftel, F. Sutter, P. Lischer, and M. Kreuzer. 2001. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. *J. Agric. Sci.* 137:235–250.
- LeJeune, J. T., and A. N. Wetzel. 2007. Preharvest control of *Escherichia coli* O157 in cattle. *J. Anim. Sci.* 85: E73-E80.
- Leng, R. A. 1993. Quantitative ruminant nutrition - A green science. *Australian Journal of Agricultural Research* 44: 363-80.
- Lohuis, H., 1990. Does liquid manure spread weeds and bacteria. *PSP-Pflanzenschutz-Praxis*. N° 3, 28-30.
- Massé, D. I., G. Talbot, and Y. Gilbert. 2011. On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167: 436-445.
- McDowell, R.W. 2008. Environmental impacts of pasture-based farming. CAB International. USA.
- Miller, J. J. 2001. Impact of intensive livestock operations on water quality. *Proc. Western Canadian Dairy Seminar* 13:405-416.
- 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.
- Muller, Z.O., 1980. Feed from animal wastes: state of knowledge. FAO. Animal Production and Health Paper, 18, FAO. Rome.
- NAS (National Academy of Science). 2001. Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes. Books for Business. Washington, D. C. USA. pp: 144.
- Nelson, C. J. 1999. Managing nutrients across regions of the United States. *J. Anim. Sci.* 77: 90-100.
- Nicholson, S. S. 2007. Nitrate and nitrite accumulating plants. In: Gupta, R. C. (ed). *Veterinary Toxicology, Basic and Clinical Principles*. Elsevier Ltd, Netherlands. pp: 876-879.
- O'Neill P. (1994). *Environmental Chemistry*, Chapman y Hall, 2a. Ed. 230 p.
- 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.

- OPS. Organización Panamericana de la Salud. 1999. Manual para la Elaboración de Compost Bases Conceptuales y Procedimientos. Oficina de Planeamiento y Presupuesto - Unidad de Desarrollo Municipal.
- Ordoñez – Díaz. 2005. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2005. Parte 4. Sector Agricultura. Preparado para el Instituto Nacional de Ecología. México.
- Powers, W. 2009. Environmental challenges ahead for the U.S. dairy industry. In: Proc. 46th Florida Dairy Production Conference, Gainesville, FL, USA. pp: 13-24.
- Reddy, K. R., R. H. Kadlec, E. Flaig, and P. M. Gale. 1999. Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 29: 83-146.
- Restrepo, J. 1997. Elaboración de abonos orgánicos con base en estiércol enriquecido con minerales y manejo de la nutrición y biofertilización para el cultivo del café orgánico. Consultor Internacional en Agricultura Orgánica para América Latina y El Caribe. Colombia.
- Robertson, A.M., 1977. Farm wastes handbook. Scottish Farm Building Investigation Unit, Craibstone, Bucksburn, Aberdeen, AB2 9TR, Scotland. 114p.
- Rodríguez, C., M. Finola., V. Beoletto AND C. Basualdo. 1997. Bacteriology of laying hens manure, composting and *Eisenia foetida* (Oligochaeta, Lumbricidae). Megadrilogica. 7 (3):21-27.
- Rodríguez, C., V. Beoletto., M. Finola. 1996. Bacteriology of poultry litter, compost and the earthworm *Eisenia foetida* (Oligochaeta, Lumbricidae). Megadrilogica. 6 (10):91-95.
- Rodríguez, C., V. Beoletto., M. Finola. 1997. Evaluación bacteriológica en desechos orgánicos pecuarios. I.- Aviaries, porcinos, bovinos. Rev. Agronómica del NOA. UNT. Vol. 9 (3-4):151-164.
- Rodríguez, Claudia. 2002. Cursos de Introducción a la Producción Animal. FAV, UNRC – Argentina.
- Safley L.M. 1992. Global methane emissions from livestock and poultry manure. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, 175 p.
- Salcedo, D. G. 2002. Suplementación de Vacas En Pastoreo. Dpto. de Tecnología Agraria del I.E.S. “La Granja” 39792 Heras. Cantabria España.

- Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N. (1998). Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution.2, John Wiley & Sons (Eds.). pp. 1326.
- Sharpe, R., and N Skakkebæk. 1993. Are oestrogens involved in falling sperm counts and disorders of the male reproductive tract? The Lancet 341: 1392-1395.
- Smith, P., and F. Conen. 2004. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. Soil Use Manage. 20:255–263.
- Taverna, M.; Charlón, V.; Panigatti, C.; Castillo, A. y Serrano, P. 2004. Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. INTA (ed.). Rafaela, Argentina. Pp 75.
- Thomassen, M. A., K. J. van Calker, M. C. J. Smits, G. L. Iepema, and I. J. M. de Boer. 2008. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. Agric. Systems 96(1-3): 95-107.
- Upton, M. 1997. Intensification or extensification: which has the lowest environmental burden? WAR/RMZ. N° 88. FAO. Roma, Italia.
- US EPA (Environmental Protection Agency). 2010. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990–2008.
- Winfield A. (1995). Environmental Chemistry, Cambridge University Press, 76 p.
- Wuebbles D.J. and Edmonds J. (1991). Primer on greenhouse gases, Lewis, Chelsea, Michigan, 230 p.





**ANEXO Nro. 01**  
**PROYECTO DE TESIS**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO PRODUCIDAS  
POR LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL PROVENIENTE DE SISTEMAS DE  
PRODUCCION DE VACUNOS DE LECHE. IRRIGACIÓN MAJES, AREQUIPA, 2013**

**Proyecto de Tesis presentado por el Magister:  
Juan Eduardo Reátegui Ordóñez para optar el  
Grado Académico de Doctor en Ciencias  
Ambientales**

**Arequipa – Perú**

**2012**

## I. PREÁMBULO

Las definiciones de agricultura sostenible enfatizan el mantenimiento de la productividad y de la utilidad agrícola minimizando los impactos ambientales, siendo una de las más conocidas la que establece que el desarrollo sostenible es aquel que permite la satisfacción de las generaciones presentes sin comprometer la posibilidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras.

Existe un consenso creciente acerca de que el logro de una agricultura sostenible exige un cambio en la forma en que se han abordado, hasta ahora, los sistemas agropecuarios ya que se ha privilegiado el estudio de los componentes por sobre el conocimiento de las interrelaciones entre ellos. A su vez, la falta de una visión sistémica ha generado dificultades para percibir las salidas no deseadas del mismo, que han originado graves problemas ambientales (Sarandón, 2002). Además, estos últimos ocurren a distintos niveles de resolución geográfica, y sus impactos tienen una importancia acorde a la escala en que se manifiestan (global, continental, regional, nacional, ecosistémica, zonal, predial, potrero).

Como han escrito Antonio Bello y Simón R. Gowen<sup>18</sup>, “queremos unos productos agrarios de calidad para todos, queremos que la agricultura sea compatible con el medio ambiente, pero para ello debemos comenzar planteándonos que la agricultura no es un problema exclusivo de unos cuantos, los agricultores, sino un problema de todos”. Un problema de los trabajadores, de los consumidores, de los ciudadanos. Cultivar, criar ganado, pescar, practicar la acuicultura, comerciar con alimentos y comer son actividades con un alto contenido ético y político: asuntos que no pueden obviar los ciudadanos y ciudadanas responsables del siglo XXI.

La FAO, subraya que el ganado es esencial para los medios de subsistencia de casi mil millones de pobres. El ganado proporciona ingresos, alimentos de alta calidad, fuerza de tiro, material de construcción y fertilizante, contribuyendo así a la nutrición y la seguridad alimentaria. Para muchos pequeños productores, el ganado supone igualmente una importante red de seguridad en tiempos de necesidad<sup>19</sup>.

En su proceso de desarrollo la humanidad ha generado gases de efecto invernadero (GEI) de manera excesiva, liberándolos a la atmósfera sin ningún tipo de restricción.

---

<sup>18</sup> FAO: Ganadería Sostenible [en línea]

<sup>19</sup> FAO: El estado mundial de la agricultura y la alimentación (SOFA). [En línea]. Roma, 2010.

Esta emisión de GEI se incrementó significativamente desde el inicio de la era industrial (primera mitad del siglo XIX), debido a distintas actividades, principalmente de los hoy denominados países desarrollados, tales como la quema excesiva de combustibles fósiles (petróleo y derivados, carbón), la deforestación, intensa actividad ganadera, y por el uso de tecnologías poco adecuadas.

Este exceso de emisiones estaría originando una interferencia en el comportamiento habitual de la atmósfera y el clima. La concentración de estos GEI se ha incrementado tanto, que este proceso natural y esencial para la vida en la Tierra se ha transformado en un problema conocido como cambio climático o calentamiento global (no importa el lugar en que se emitan estos GEI, pues todos en conjunto contribuyen a elevar la concentración mundial de estos gases, y por lo tanto, al calentamiento de nuestro planeta).

El metano ( $\text{CH}_4$ ) es uno de los gases de efecto invernadero más importantes que se emiten a la atmósfera debido a las actividades antropogénicas, después del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Los gases de efecto invernadero son constituyentes de la atmósfera, capaces de absorber las radiaciones y emitir las posteriormente<sup>20</sup>. El  $\text{CH}_4$  es un compuesto molecular que se encuentra en abundancia en la atmósfera, con unas propiedades radiactivas tales que le confieren una capacidad elevada de absorción de la energía infrarroja, contribuyendo así al calentamiento global.

La concentración de  $\text{CH}_4$  en la atmósfera ha aumentado rápidamente y se ha multiplicado por dos desde el comienzo de la Era Industrial (Steele *et al.*, 1992<sup>21</sup>; Moss *et al.*, 2000<sup>22</sup>; IPCC, 2001<sup>23</sup>; Wuebbles y Hayhoe, 2002<sup>24</sup>). Además, el  $\text{CH}_4$  tiene un potencial de calentamiento de la tierra 23 veces superior al  $\text{CO}_2$  (IPCC, 2001), es decir, que cada kilo de  $\text{CH}_4$  liberado a la atmósfera contribuye al calentamiento global relativo tanto como la emisión de 23 kg de  $\text{CO}_2$ , calculado para un horizonte temporal de 100 años.

---

<sup>20</sup> SEINFELD, J.H. AND S.N. PANDIS. 1998. Atmospheric chemistry and physics of air pollution. 1326 p.

<sup>21</sup> STEELE, L.P., E.J. DLUGOKENCKY, P.M. LANG, P.P. TANS, R.C. MARTIN AND K.A. MASARIE. 1992. Slowing down of the global accumulation of atmospheric methane during the 1980s. *Nature*, 358: 313-316.

<sup>22</sup> 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.

<sup>23</sup> 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.

<sup>24</sup> WUEBBLES, D.J. AND K. HAYHOE. 2002. Atmospheric methane and global change. *Earth-Sci. Rev.*, 57: 177-210

La ganadería emite  $\text{CH}_4$  debido fundamentalmente a la fermentación entérica y en menor medida a la fermentación de las deyecciones ganaderas<sup>25</sup>. La ganadería es responsable de cerca del 23% de las emisiones de  $\text{CH}_4$  globales de origen antropogénico<sup>26</sup>, debidas mayoritariamente a la digestión de los rumiantes, que emiten  $\text{CH}_4$  durante la digestión del alimento en el rumen, figurando el ganado bovino como principal responsable, seguido del ovino<sup>27</sup>.

El ganado vacuno emite  $\text{CH}_4$  como consecuencia de la fermentación de los alimentos en el tracto digestivo. Este gas se emite como subproducto de la fermentación microbiana de los hidratos de carbono, fundamentalmente en el rumen pero también en el intestino grueso, por la cual son degradados a ácidos grasos volátiles que son absorbidos. La fermentación de los hidratos de carbono resulta en la producción de hidrógeno que las bacterias metanogénicas utilizan para reducir el carbono del  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$  (Moss et al., 2000). Este  $\text{CH}_4$  es emitido a la atmósfera principalmente mediante eructos, y en menor medida a través de la respiración o de flatulencias.

La emisión de  $\text{CH}_4$  depende de factores intrínsecos del animal (peso, edad y especie), así como extrínsecos relacionados con el alimento (composición e ingestión). Es debido al tipo de aparato digestivo y a la presencia del rumen en los rumiantes, así como a las poblaciones de bacterias y protozoos existentes, que estos animales emiten significativamente mayores cantidades de  $\text{CH}_4$  durante la digestión que los no rumiantes o monogástricos<sup>28</sup> (Crutzen et al., 1986; Moss et al., 2000). Los animales más jóvenes presentan tasas de conversión de  $\text{CH}_4$  menores que los animales adultos, debido fundamentalmente al menor número y actividad de microorganismos ruminales encargados de la fermentación. Además, la erutación de  $\text{CH}_4$  en animales jóvenes comienza normalmente al mes de nacer<sup>29</sup>.

En cuanto a los factores relacionados con el alimento, la producción de  $\text{CH}_4$  depende de la cantidad y calidad de aquel. Generalmente, la cantidad de  $\text{CH}_4$  liberada aumenta con la cantidad de alimento ingerido, aunque la tasa de producción por kg

---

<sup>25</sup> MONTENY, G.J., C.M. GROENESTEIN AND M.A. HILHORST.2001. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Cycl. Agroecosys.*, 60: 123-132.

<sup>26</sup> 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.

<sup>27</sup> CRUTZEN, P.J., I. ASELMANN AND W. SEILER. 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus*, 38 (B): 271-284.

<sup>28</sup> JENSEN, B.B. 1996. Methanogenesis in monogastric animals. *Environ. Monit. Assess.*, 42: 99-112.

<sup>29</sup> ANDERSON, K.L., T.G. NAGARAJA, J.L. MORRILL, T.B. AVERY, S.J. GALITZER AND J.E. BOYER. 1987. Ruminal microbial development in conventionally or early-weaned calves. *J. Anim. Sci.*, 64: 1215-1226

de alimento consumido puede disminuir al aumentar el nivel de alimentación.<sup>30;31</sup> Esta variación se debe fundamentalmente a que al aumentar la ingestión de materia seca se acelera el paso del alimento por el aparato digestivo, disminuyendo el tiempo disponible para la fermentación ruminal.<sup>32</sup> La proporción de energía bruta (EB) que se pierde en forma de CH<sub>4</sub> está más afectada por la composición del alimento que por la cantidad.

Así, dietas de calidad, muy digestibles, generalmente utilizadas para lograr un crecimiento rápido o una mayor producción de leche de los animales, generan menores emisiones de este gas, debido a que producen fermentaciones más ricas en ácido propiónico, desviando una mayor proporción de H<sub>2</sub> hacia la síntesis del mismo en detrimento del CH<sub>4</sub> como sumidero de H<sub>2</sub>, con lo que se logra una transformación más eficiente del alimento en el rumen<sup>33</sup>.

El tipo de concentrado, y particularmente la degradabilidad de éste, son también determinantes de las pérdidas de CH<sub>4</sub> por fermentación. Es por ello que la suplementación con fuentes de almidón menos degradable y la mejora de la calidad de las raciones, se presenta como una de las mejores vías para la reducción de las pérdidas de CH<sub>4</sub>, sobre todo en ganado bovino<sup>34</sup> (Crutzen *et al.*, 1986).

Las pérdidas de CH<sub>4</sub> se expresan normalmente como fracción de la EB, y a este término se le conoce como Y<sub>m</sub>. Como se indica en las guías del IPCC<sup>35;36</sup>, el valor de Y<sub>m</sub> depende de la calidad y la digestibilidad de las distintas dietas. Dada la relación negativa que existe entre el Y<sub>m</sub> y la digestibilidad, se asume que a medida que aumenta la digestibilidad disminuye el Y<sub>m</sub>. Los valores de Y<sub>m</sub> que se encuentran en la bibliografía varían entre el 2% y el 12% de la energía ingerida para distintas

<sup>30</sup> BLAXTER, K.L. AND J.L. CLAPPERTON. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. Brit. J. Nutr., 19: 511-522.

<sup>31</sup> AGUILERA, J.F. AND C. PRIETO. 1991. Methane production in goats given diets based on lucerne hay and barley. Arch. Anim. Nutr., 41: 77-84.

<sup>32</sup> HINDRICHSEN, I.K., H.R. WETTSTEIN, A. MACHMULLER AND 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.

<sup>33</sup> 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.

<sup>34</sup> JOHNSON, K.A. Y D.E. JOHNSON. 1995. Methane emissions from cattle. J. Anim. Sci., 73: 2483-2492.

<sup>35</sup> IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 4. Agriculture. IPPC/OECD/IEA. Paris. 140 p.

<sup>36</sup> IPCC. 2006. 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.

dietas<sup>37</sup>, si bien los valores extremos corresponden a situaciones no usuales en la práctica. El IPCC (IPCC, 2006) propone unos valores de  $Y_m$  para el ganado bovino que se encuentran entre el 2 y el 7,5%, correspondientes a digestibilidades entre 45 y 85%, dependiendo del tipo de alimento, lo que se resuelve planteando distintos tramos de digestibilidad para los forrajes (45-55%) los pastos (55-75%) y los alimentos concentrados (75- 85% ).

Para el ganado ovino, el rango propuesto es menor, situándose éste entre el 3,5 y el 7,5%. Para esta clase de ganado, los valores se establecen más en función de la edad de los animales (3,5-4,5% para animales menores de un año; 5,5-7,5% para animales adultos) en relación con el tipo de alimentación recibida (mayor nivel de concentrados en las dietas para animales jóvenes). Para caprino, se recomienda un único valor de  $Y_m$  del 5%. Johnson et al. (2000) también establecieron que, en general, con dietas de alto contenido en concentrado (superior al 80%) administradas a niveles superiores al de mantenimiento, las pérdidas de  $CH_4$  se encuentran por debajo del 5%.<sup>38</sup>

Esto puede deberse fundamentalmente a factores de la dieta que crean un ambiente más hostil para la flora microbiana metanogénica y las poblaciones de protozoos ruminales, tales como una rápida tasa de digestión y un descenso del pH ruminal que se reflejan en una mayor concentración relativa de ácido propiónico. Es por ello que, presumiblemente, los factores de conversión de  $CH_4$  en estas situaciones sean inferiores a los rangos propuestos por IPCC (2006).

---

<sup>37</sup> JOHNSON, D.E. Y G.M. WARD. 1995. Estimates of animal methane emissions. *Environ. Monit. Assess.*, 42: 133-141

<sup>38</sup> JOHNSON, D.E., K.A. JOHNSON, G.M. WARD AND 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.

## II. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

### 1. Problema de Investigación

#### 1.1. Enunciado del problema

ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO PRODUCIDAS POR LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL PROVENIENTE DE SISTEMAS DE PRODUCCION DE VACUNOS DE LECHE. IRRIGACIÓN MAJES AREQUIPA – 2013.

#### 1.2. Descripción del problema

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

El estudio que se desarrollará, se enmarca dentro del área de conservación del medio ambiente, bajo las consideraciones que se estimará la cantidad de CH<sub>4</sub> producida por la gestión del estiércol, diferenciados y relacionadas por cada sistema de producción proveniente de vacunos lecheros en la Irrigación Majes – Arequipa.

##### 1.2.2. Análisis y Operacionalización de variables

VARIABLE	INDICADOR	SUBINDICADOR
<b><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></b>  Gestión del estiércol	<b>Gestión del estiércol por el sistema intensivo</b> <i>(Animales estabulados, consumo de altos niveles de concentrados y el uso mayoritario de ensilaje de maíz entre los forrajes empleados).</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factor de emisión para sistema intensivo</li> </ul>
	<b>Gestión del estiércol por el sistema semi-intensivo</b> <i>(Pastoreo de alfalfa y suministro de ensilaje de maíz y otros forrajes en el establo. Empleo de cantidades intermedias de concentrados de calidad variable)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factor de emisión para sistemas semi-intensivos</li> </ul>
<b><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></b>  Emisiones de metano por gestión de estiércol	<b>Ambientales del sistemas</b>  <b>Kg CH<sub>4</sub>/vaca/año</b> <i>(Kilos de metano producido por animal año)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasas de excreción de Sólidos Volátiles</li> <li>• Ingesta de energía bruta</li> <li>• Factor de conversión de metano</li> <li>• Capacidad máxima de producción de metano del estiércol</li> </ul>

### 1.2.3. Interrogantes de investigación

- ¿Cuál es el efecto de la gestión del estiércol sobre la producción de metano de las excretas y cómo contribuyen éstos a la estimación de la emisión de metano por animal por año en las vacas lecheras de la irrigación Majes en sistemas intensivos de manejo productivo?
- ¿Cuál es el efecto de la gestión de estiércol sobre la producción de metano de las excretas y cómo contribuyen éstos a la estimación de la emisión de metano por animal por año en las vacas lecheras de la irrigación Majes en sistemas semi-intensivos de manejo productivo?
- ¿Cuál es el efecto de la gestión de estiércol del sistema de producción de leche sobre la producción de metano de las excretas e ingesta de energía bruta por los animales, y cómo contribuyen éstos a la estimación de la emisión de metano por animal por año en las vacas lecheras de la irrigación Majes?

### 1.2.4. Tipo y nivel de investigación

- Considerando la finalidad, es un estudio aplicado.
- De acuerdo al tipo de diseño de investigación, corresponde a un estudio no experimental.
- Considerando su prolongación en el tiempo, el estudio es transversal o sincrónico.
- Considerando el énfasis en la naturaleza de los datos, la investigación corresponde a un estudio cuantitativo.
- Considerando el nivel de investigación, está corresponde a una investigación descriptiva y explicativa.

## 1.3. Justificación del problema

Los estudios conducentes a realizar estimaciones de las emisiones de metano por la gestión del estiércol bajo condiciones de los sistemas de producción de leche de la Irrigación Majes, no han sido realizados a la fecha siendo ésta de importancia científico tecnológica.

Bajo la consideración que la irrigación Majes representa una zona estratégica para la explotación de la ganadería lechera, la gran masa de animales y el intenso flujo de nutrientes representan condiciones para que productos y subproductos del metabolismo animal impacten al medio ambiente.

En la presente investigación se pretende estimar la emisión de metano, en base al análisis de la gestión del estiércol de los vacunos lecheros, el estiércol de dichos animales es gestionado en dos esquemas, de acuerdo al sistema (manejo) bajo las cuales se conducen (intensivo y semi intensivo).

La importancia de la presente investigación para el hombre radica en que cualquier actividad humana, indefectiblemente se halla acompañada de algún grado de impacto sobre el ambiente, y la actividad pecuaria, no escapa a esta realidad; en tal sentido, se ha demostrado que la explotación de ganado vacuno contribuye grandemente a la emisión de gases de efecto invernadero, siendo uno de los principales el metano ( $\text{CH}_4$ ), el mismo que se produce a diferentes cantidades de acuerdo al sistema en el que se explotan los vacunos lecheros, así como también cuando las dietas presentan desbalances en su composición; tal podría ser el caso de los actuales sistemas de producción y de alimentación en la Irrigación Majes.

La estimación de la emisión de este gas proveniente de la gestión del estiércol bajo condiciones locales, proveerá información crítica para conocer la emisión de metano en cada sistema de producción, y realizar correcciones a la disposición del estiércol y plantear respectivas medidas correctivas y disminuir los efectos globales de este gas.

El índice de producción de metano proveniente del estiércol de los animales, estimado en base a las tasas de excreción de sólidos volátiles, ingesta de energía bruta y el factor de conversión de metano permite estimar las emisiones de metano producidas por la gestión del estiércol originado en cada sistema de producción de vacunos de leche, esta información permitirá conocer el estado actual de las emisiones de este gas y aportará las bases para implementar medidas de mitigación en base al tipo de disposición del estiércol dentro de cada sistema y permitirá

plantear alternativas para disminuir el impacto negativo sobre el medio ambiente.

## 2. Marco conceptual

### 2.1. Generalidades de la ganadería en la irrigación Majes

El inicio de las actividades del Proyecto Piloto Majes se efectuó en 1947, con el principal interés por la utilización agrícola de las Pampas de Majes como posible zona irrigable mediante la utilización de las aguas de la cordillera. Su pendiente natural (2.5%), su clima, su cercanía a la ciudad de Arequipa y la presencia de la carretera Panamericana, hicieron de las Pampas de Majes un lugar estratégico para la producción y transformación de productos agropecuarios. El proyecto de Irrigación Majes está previsto inicialmente para un total de 57,000 Ha (Proyecto Piloto Majes, 1992).

En la actualidad, la población estimada de vacas en producción y secas en la Región Arequipa es 218,000 animales (SIRA 2004), y el número de vacas por estable en la cuenca de Arequipa es de 14 animales Pallette (1991). Mientras que Medina (1988) cuantificó en el año 1979, que las vacas representaban el 43% de la población y que el 68% de éstas son de primer y segundo parto. Estos valores son promedio para la campaña de Arequipa, los valles de Vitor y Siguan, Irrigaciones de La Joya, San Camilo y San Isidro. La raza Holstein Friesian es la que predomina y representa el 65% de los animales registrados y PPC (puros por cruce), siguiendo la raza Overo Negro con el 34.5% y por último la raza Brown Swiss con un 0.5%. Así mismo, reportó que las vacas representaban el 43% del hato, las vaquillonas (1 año-parto) el 15%, las terneras (0-12 meses) 4% y los toros 2%.

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. Medina (1988) encontró que el 80% de establos tenían el sistema de explotación mixto, el 17% extensivo y el 3% sistema intensivo; así mismo, que en la cuenca predominan las empresas formadas por personas naturales que ocupa el 94% de establos.

Bernal (1993) encontró en Arequipa, el sistema mixto o semi intensivo en 69.5%, y el sistema extensivo es practicado en 30.5% de establos, el sistema intensivo solo se encuentra en 0.8% y 1.6% de los establos de la zona de Santa Rita y Proyecto Majes, con un nivel más de 200 kg leche/establo/día, respectivamente.

## 2.2. Sistemas de producción de leche

A la fecha, Arequipa cuenta con 21,347 productores ganaderos, de los cuales el 76% están distribuido en la provincia de Arequipa (Chiguata, Polobaya, San Isidro, Socabaya, Yarabamba, La Cano, Quequeña, Characato, Socabaya, Yura, Santa Rita, San Camilo, Yuramayo, Vitor y La Joya), Caylloma (principalmente Irrigación de Majes), Castilla (Ongoro, El Castillo) e Islay (Mollendo, Mejía, Ensenada, La Punta de Bombón, El Boquerón); el resto de productores está ubicado en las zonas de Camaná, Condensuyos, La Unión, y Caraveli, zonas donde la actividad ganadera existe, pero es muy limitada por factores económicos, escasez de forrajes y lejanía para poder acceder a mercados, factor que se agrava más al no contar con volumen de producción considerables, en la actualidad estas zonas tienen un promedio de producción deficiente (SIRA, 2004).

La Irrigación Majes provee una producción de leche de 9448.3 TM de leche/mes, y la Campiña de Arequipa tiene una producción de 8400 TM de leche/mes SIRA (2004). En promedio general de 8.5 litros/vaca/día, y un promedio de producción de 11.8 litros/vaca/día en la campiña de Arequipa Valenza (1991). La producción promedio de leche general encontrados en la Provincia de Arequipa es de 10.69 litros/vaca/día, y un promedio de producción de 13.72 litros/vaca/día, de vacas en lactación (Bernal, 1993) La producción de leche proveniente de la Irrigación Majes y la Provincia de Arequipa, representan cerca del 84% de la producción total captada en el Departamento de Arequipa, la Irrigación Majes contribuye con el 30% de este porcentaje total (SIRA, 2004).

### 2.3. Ganadería: sistemas de manejo productivo

#### Ganadería Intensiva:

Es la aplicación de múltiples tecnologías y las formas de pensamiento surgidas del capitalismo, que nacen con la revolución industrial, a la ganadería. Esta aplicación ocurrió en el siglo XX. Los principios de la ganadería intensiva son la de obtener el máximo beneficio, en el menor tiempo posible, concentrando los medios de producción y mecanizando y racionalizando los procesos, para incrementar constantemente el rendimiento productivo.

El ejemplo de ganadería intensiva es la avicultura, en la que existe una selección artificial de gallinas, bien sea para la producción de huevos o carne. Estas aves se crían en enormes naves, con los animales hacinados en baterías, en un ambiente regulado en temperatura, luz y humedad, mecanizado al máximo, donde por una parte entra el agua y el pienso y por otra salen huevos y deyecciones. La ganadería intensiva se rige pues por las leyes de la producción industrial. Las hay también que emplean alimentos ecológicos.

#### Ventajas de la ganadería intensiva:

- 'Eficiencia': La ganadería intensiva obtiene la máxima producción con el dinero invertido en el menor tiempo posible.
- 'Adaptación a la demanda del mercado': Se ajusta a la demanda de los consumidores.
- 'Homogeneidad': Es la obtención de productos homogéneos o de características igual, para satisfacer las necesidades de la distribución y comercialización a gran escala.

#### Inconvenientes de la ganadería intensiva:

- 'Gran consumo de energía', generalmente de procedencia energía fósil, en ocasiones hasta 20 kilojulios por kilojulio en el alimento obtenido.
- 'Extremadamente contaminantes', debido al acumulo de enormes masas de deyecciones, que no pueden ser recicladas en los

agrosistemas convencionales y que provocan la contaminación atmosférica, del contaminación del suelo y de las aguas con metales pesados, fármacos etc.

- 'Efímero': La ganadería intensiva no es perdurable, es decir no puede mantenerse indefinidamente en el tiempo o es 'insostenible'

#### **Ganadería extensiva:**

Los sistemas extensivos, tradicionales o convencionales de producción animal se caracterizan esencialmente por formar parte de un ecosistema natural modificado por el hombre, es decir, un agroecosistema, y tienen como objetivo la utilización del territorio de una manera perdurable, o sea, están sometidos a los ciclos naturales, mantienen siempre una relación amplia con la producción vegetal del agroecosistema de que forman parte y tienen, como ley no escrita, la necesidad de legar a la generación siguiente los elementos del sistema tanto inanimados como animados e incluso los contruidos por el hombre, en un estado igual o superior que los que se recibieron de la generación precedente.

Dentro de la ganadería extensiva podríamos incluir a la ganadería sostenible que es la ganadería perdurable en el tiempo y que mantiene un nivel de producción sin perjudicar al medio ambiente o al ecosistema. La ganadería sostenible se incluye dentro del concepto de desarrollo sostenible. En sentido figurado es sinónimo de ganadería ecológica, que no perjudica al ecosistema, aunque este término es neutro y por tanto incorrecto, pues todas las ganaderías asientan sobre un ecosistema.

#### Ventajas de la ganadería extensiva:

- Requieren un escaso aporte de energía fósil, en ocasiones se requiere 0,1 kilojulio o menos para obtener 1 kilojulio de alimento en la mesa del consumidor.
- Contribuyen a mantener los agroecosistemas de los que forman una parte esencial, manteniendo los agroecosistemas naturales del entorno, como la biodiversidad.
- En climas áridos o semiáridos como la mitad de Perú, contribuyen al mantenimiento de la cubierta vegetal, es decir, evitar la erosión.

- Prevenir los incendios forestales mediante el control arbustivo, la reducción de biomasa combustible, etc.

Inconvenientes de la ganadería extensiva:

- Menor eficiencia.
- No pueden ajustarse fácilmente a la demanda de los consumidores.
- No pueden proporcionar productos tan homogéneos como solicita la distribución y el mercado de las grandes superficies comerciales.

#### **2.4. Sistema de producción - alimentación de la vaca lechera en la región**

Una importante proporción de las explotaciones lecheras en la región Arequipa son semi-intensivas, por lo que la alimentación es básicamente a base de forrajes, que pueden estar en forma fresca, seca y conservada (alfalfa fresca, heno de alfalfa o ensilaje de maíz).

En la actualidad se tienen 52 754 hectáreas sembradas de forrajes, de las cuales 50 328 están sembradas con alfalfa, y las 2 426 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 Proyecto Majes, con un nivel de más de 200 kg

leche/establo/día (Espinoza, 2008)<sup>39</sup>. Este sistema se caracteriza por poseer el mayor nivel tecnológico y el uso de cantidades significativas de alimentos concentrados

#### **b) Sistemas semi-intensivo**

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.

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

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

La atmósfera del planeta tierra puede incrementar su temperatura por la presencia de algunos gases, tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los clorofluorcarbonados (CFC). Esto se debe a que estos gases permiten el paso de la radiación solar, pero absorben una parte de la irradiación infrarroja remitida 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°C actuales hasta los -18° 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 CH<sub>4</sub> atrapada en los hielos polares permaneció estable hasta hace unos 100 años ( 750 ppb), momento en el

---

<sup>39</sup> 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.

que empezó a aumentar hasta alcanzar los niveles actuales de 1.800 ppb (Khalil et al., 1993<sup>40</sup>; Johnson y Johnson, 1995).

El nivel de captación de la radiación varía de unos gases a otros, de forma que aunque el CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CFC se encuentran en la atmósfera a concentraciones muy inferiores al CO<sub>2</sub> (200 veces menor en el caso del CH<sub>4</sub>), su contribución al efecto invernadero alcanza niveles muy significativos: 18, 6 y 14%, respectivamente, frente al 49% del CO<sub>2</sub>.

Existen también diferencias notables entre estos gases en cuanto a su vida media en la atmósfera (Van Soest, 1994<sup>41</sup>; Chatellier y Verité, 2003<sup>42</sup>), que es notablemente más corta para el metano (10-20 años) que para el CO<sub>2</sub> (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.

Según los reportes del protocolo de Kyoto, los inventarios de emisiones de dióxido de carbono sólo contabilizan el CO<sub>2</sub> que procede de combustibles de origen fósil (petróleo, carbón, gas natural). En cambio, no se considera el CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> atmosférico. También se contabiliza la conversión de CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub> tiene un valor de Poder de Reclutamiento Global (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.

---

<sup>40</sup>Khalil, N.A.K., R. A. Rasmussen, and F. Moraes.1993. Atmospheric methane at Cape Meares: analysis of a high-resolution database and its environmental implications. J. Geophys. Res. 98: 14753.

<sup>41</sup> Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2<sup>o</sup> Ed. Comstock. Cornell University Press. 476 pp.

<sup>42</sup>Chatellier, V., Verite, R. 2003. INRA Productions Animales, 16, 231-249.

## Ganadería y medio ambiente en la historia

En los inicios de la ganadería, esta actividad se estableció 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”<sup>43</sup>.

---

<sup>43</sup>Gaudín G. 2010. Agricultura a gran escala afectan equilibrio ecológico. Noticias Aliadas. Cambio climático: Seguridad Alimentaria, agua & protección de bosques. Buenos Aires.

## Producción ganadera e impacto ambiental.

Incrementos de la producción ganadera pueden originar 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.

Debido a 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 *Livestockslongshadow*, 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.

### **Revolución ganadera y medio ambiente**

Cambios en la producción ganadera no son recientes. 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.

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

La agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) 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<sup>44</sup>.

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<sup>45</sup>. 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<sup>46</sup>.

### **Sistema digestivo de rumiantes y su contribución a las emisiones de metano**

Los rumiantes 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.

Debido a 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  $\text{CO}_2$ .

---

<sup>44</sup>Primavesi O, Shiraishi RT, Dos Santos M, Aparecida M, Teresinha T, Franklin P. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq Agropec bras*, 2004 39 (3): 277-283

<sup>45</sup>McCaughy W, Wittenberg K, Corrigan D. 1997. Methaneproduction by steers on pasture. *Can J An Sc*; 76 (3):519-524.

<sup>46</sup>Preston TR, Leng RA. Friendly development. *Livestock Research for Rural Development*, 1(1), November, 1989.

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<sup>47</sup>. Asimismo, 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.

---

<sup>47</sup> 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

### **Manejo nutricional para reducir la emisión de metano**

La contribución de los rumiantes en términos de metano, aportan con aproximadamente 18 – 20% de este gas 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). El gas 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 CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub> que aquellos que se fermentan a tasas más rápidas (McCrabb, 2002).

En el Perú, la alta emisión de CH<sub>4</sub> proveniente de ganado bajo sistemas al pastoreo es explicado por la pobre calidad del forraje (pasturas nativas 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 mejorar la utilización de los alimentos y por lo tanto a la reducción de la emisión de CH<sub>4</sub> 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.

## **Implicancia de las emisiones de la ganadería lechera y su caracterización económica**

Según los reportes de Gómez y Fernández (2009), quienes realizaron evaluaciones con unidades ganaderas consideradas típicas de explotaciones lecheras en el Perú, y siguiendo para su identificación la metodología descrita por la International Farm Comparison Network (IFCN) – Dairy, la cual comprende las siguientes fases: Identificación de regiones lecheras, identificación de unidades especializadas en producción lechera y selección de las unidades representativas.

Estos autores cuantificaron las emisiones de metano provenientes de fermentación entérica con datos colectados el 2008 mediante 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 ryegrass/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 incluyó 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 a sido demostrado recientemente (Bartl et al., 2008).

A diferencia a dietas de la costa (PE-180), las cuales 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 utilizar 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 de 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 determinó 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 De Investigación

#### 3.1. Variación del pH durante los procesos anaerobios de emisión de Metano por el secado y la fermentación de excretas de ganado bovino en el centro de MÉXICO. Gonzáles y Longoria. México – 2005.

En México se han realizado dos inventarios de emisiones de metano por excretas de ganado bovino. El primero (González-Ávalos 1994) siguió la metodología de la EPA (Environmental Protection Agency), mientras que el segundo (González y Ruiz 1995) estuvo apoyado en un procedimiento experimental del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Los Factores de Emisión de Metano involucrados en ambas metodologías no eran aplicables a los climas, la producción pecuaria y el manejo de excretas en México. Este trabajo resultó de la necesidad de estimar los Factores de Emisión de Metano (FEM) por excretas de ganado bovino especializado en la producción de leche, carne y doble propósito para diferentes climas, razas, tipos de alimentación y sistemas de manejo de excretas, con el fin de obtener un inventario representativo de emisiones de metano acorde a las condiciones de México. En este estudio presentamos la relación entre los valores de pH durante los procesos de secado y fermentación de excretas de ganado bovino, de diferentes climas, sistemas y funciones de producción. También se muestra la cantidad de gas generado, con la inclusión del contenido de metano como función del tipo de alimentación, la temperatura y la fermentación de excretas en laguna anaeróbica a 35 °C. Aun cuando la variación del pH durante la

fermentación en laguna anaeróbica fue similar a la del proceso de secado, la generación de metano fue 46 veces mayor en laguna anaeróbica con respecto al proceso desecado y fermentación. Asimismo, a partir de diferentes valores iniciales, si el pH descendía rápidamente hasta valores cercanos a 6 unidades, entonces la generación de metano era inhibida drásticamente. Por el contrario, la producción máxima de metano correspondió a procesos con pH inicial mayor a 7 unidades, con un descenso lento del pH durante el proceso de fermentación, pero sin alcanzar el mínimo de 6.0 unidades. Finalmente, el  $r^2 = 0.9646$  entre las tendencias exponenciales del pH y de la humedad de las muestras está relacionado con la población de bacterias en las muestras de excretas y, por tanto, con la producción de biogás y metano.

**3.2. Factores de emisión para metano por fermentación entérica y de óxido nitroso 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 ktonequiv CO<sub>2</sub> (100 años) y el 85% provienen de fermentación entérica, mientras que de las 9697 ktonequiv 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.

**3.3. 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.

**3.4. 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.

**3.5. 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.

### **3.6. Estimación de la Emisión de Gases de Efecto Invernadero en el Municipio de Montería, (Córdoba, Colombia). Echeverri L., C. 2006<sup>48</sup>.**

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.

---

<sup>48</sup> Carlos Alberto Echeverri Londoño. 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

**3.7. Sobre los subsistemas input-output en el análisis de emisiones contaminantes. Una aplicación a las emisiones de CH<sub>4</sub> en Cataluña.** Navarro y Alcántara. 2009<sup>49</sup>.

En el 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.

**3.8. Ganadería y Cambio Climático: una Influencia Recíproca.** Lorente Saiz, A. 2010<sup>50</sup>. 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

---

<sup>49</sup>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.

<sup>50</sup>Lorente Saiz, A. 2010. Licenciatura de Geografía. Universidad de Alicante (España)

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.

**3.9. 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 explicada 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.

**3.10. 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.

**3.11. 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<sup>51</sup>**

Se desarrolló un trabajo de investigación 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

---

<sup>51</sup> Obando, Alexander: 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. Pág. 09

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

- Estimar la emisión de metano proveniente de la gestión del estiércol mediante la determinación de las tasas de excreción de sólidos volátiles, ingesta de energía bruta, factor de conversión de metano y la capacidad máxima de producción de metano proveniente del estiércol de vacunos lecheros en el sistema de manejo intensivo que habitan en la Irrigación Majes.
- Estimar la emisión de metano proveniente de la gestión del estiércol mediante la determinación de las tasas de excreción de sólidos volátiles, ingesta de energía bruta, factor de conversión de metano y la capacidad máxima de producción de metano proveniente del estiércol de vacunos lecheros en el sistema de manejo semi-intensivo que habitan en la Irrigación Majes.

- Comparar la emisión de metano estimada entre los sistemas de manejo productivo intensivo y semi-intensivo en vacunos lecheros de la Irrigación Majes.

## 5. Hipótesis

**Dado que:** durante el proceso de producción de leche en sistemas de manejo productivo de vacunos se generan importantes cantidades de estiércol, y consecuentemente de metano.

**Es probable que:** en vacunos productores de leche en la irrigación de Majes las emisiones de metano se diferencian según el sistema de producción, encontrándose mayores valores de emisión de metano en el sistema de manejo semi-intensivo en comparación al sistema intensivo de manejo productivo.



### III. Planteamiento operacional

#### 1. Técnicas e instrumentos de verificación

##### 1.1. Técnicas

Para la recolección de los datos se utilizará la técnica de observación de campo y de registros; para la determinación de los factores de emisión se utilizará la técnica de análisis y síntesis, previamente descrita por el IPCC (2006).

VARIABLES	INDICADORES Y SUB INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTO
<p><b><u>INDEPENDIENTE</u></b></p> <p>Gestión de estiércol</p>	<p><b>Gestión del estiércol por el sistema intensivo y semi-intensivo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Factor de conversión para sistema intensivo</li> <li>Factor de conversión para sistema semi-intensivo</li> </ul>	Observación	Ficha de Observación de Hato Lechero
<p><b><u>DEPENDIENTE</u></b></p> <p>Emisión de metano por gestión de estiércol</p>	<p><b>Kg CH<sub>4</sub>/animal/año (Kilos de metano producido por animal año)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tasas de excreción de Sólidos Volátiles</li> <li>Ingesta de energía bruta</li> <li>Factor de conversión de metano</li> <li>Capacidad máxima de producción de metano del estiércol</li> </ul>	Observación	Ficha de Observación de Hato Lechero

##### 1.2. Procedimiento

- **Evaluación productiva de los sistemas de manejo productivo de la ganadería lechera de la Irrigación Majes.**

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

Se realizará una recopilación de información de la población de vacunos en base a la información proporcionada por la Dirección de Desarrollo Rural de la Autoridad Autónoma de Majes (AUTODEMA), así como de la

Dirección Regional Agraria de Arequipa y estudios previos relacionados a esta investigación. Esta información será sistematizada y permitirá conocer la población de vacunos diferenciada por tipo de sistema de manejo (intensivo y semi-intensivo) y composición del hato (categorización), en términos de animales en producción, seca o crecimiento (Ver instrumento).

### **Composición de la ración suministrada**

Para determinar la composición de la ración suministrada en los sistemas de manejo, se realizarán visitas a los hatos lecheros más representativos de cada sistema de manejo productivo, en base a la información sistematizada previamente, posteriormente se determinará el consumo de cada componente de la ración (Alfalfa en Pastoreo, Ensilado y Concentrado en establo), de acuerdo al instrumento elaborado para el presente estudio.

### **Determinación de la emisión de CH<sub>4</sub> por el estiércol de vacunos lecheros**

Para tal efecto se utilizará la metodología propuesta por el IPCC (2006), denominada Nivel 2, la cual considera dos tipos fundamentales de entradas que inciden sobre el cálculo de los factores de emisión de metano del estiércol:

**Las características del estiércol:** incluye la cantidad de sólidos volátiles (VS) producida en el estiércol y la cantidad máxima de metano que puede producir ese estiércol (Bo).

La producción de VS del estiércol puede estimarse sobre la base de la ingesta alimentaria y de la digestibilidad, que son variables también utilizadas para desarrollar los factores de emisión por fermentación entérica. Alternativamente, las tasas de producción de VS pueden basarse en mediciones de laboratorio del estiércol del ganado.

La Bo varía según las especies animales y el régimen alimentario, y es un rendimiento teórico del metano basado en la cantidad de VS contenidos en el estiércol. Los materiales usados en las camas (paja, aserrín, viruta, etc.)

no están incluidos en los VS modelizados según el método de Nivel 2. El tipo y el uso que se da a estos materiales es muy variable entre los distintos países. Dado que, habitualmente, están relacionados con sistemas de almacenamiento de sólidos, su aporte no sería significativo para la producción total de metano.

**Características del sistema de gestión del estiércol:** incluye los tipos de sistemas empleados para gestionar el estiércol y un factor de conversión de metano específico del sistema (MCF, del inglés methane conversion factor) que refleja la porción de  $B_o$  que se está logrando. Se utilizan evaluaciones regionales de los sistemas de gestión del estiércol para estimar la porción de éste que se maneja con cada una de las técnicas de gestión del estiércol.

El MCF del sistema varía según la forma en la que se gestiona el estiércol y con el clima; teóricamente, puede oscilar entre un 0 y un 100%. Tanto la temperatura como el tiempo de retención desempeñan un papel importante en el cálculo del MCF. El estiércol que se gestiona como líquido bajo condiciones de calor y durante un lapso prolongado es fuente de formación de metano. Estas condiciones de gestión del estiércol pueden tener MCF altos, del 65 al 80%. El estiércol que se gestiona como material en seco en climas fríos no produce metano fácilmente y, por lo tanto, tiene un MCF de aproximadamente 1%.

Bajo tales consideraciones, se aplicará la siguiente ecuación validada por el IPCC (2006).

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \cdot 365) \cdot \left[ B_{o(T)} \cdot 0,67 \text{ kg / m}^3 \cdot \sum_{s,k} \frac{MCF_{s,k}}{100} \cdot MS_{(T,s,k)} \right]$$

Fuente: IPCC (2006)

Dónde:

$EF_{(T)}$  = factor de emisión anual de  $CH_4$  para la población de ganado categoría  $T$ , kg  $CH_4$  animal/año

**VS( $\tau$ )** = sólidos volátiles excretados por día en la categoría de ganado  $T$ , kg materia seca animal/día

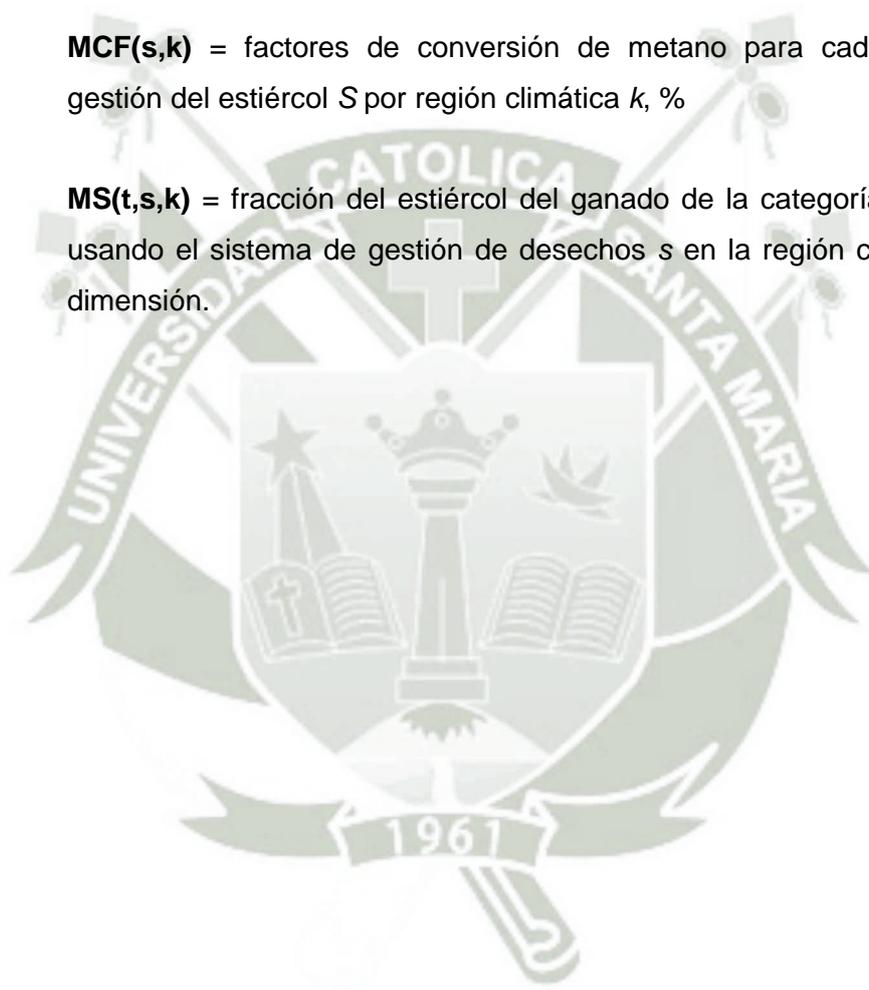
**365** = base para calcular la producción anual de VS, días/año

**Bo( $\tau$ )** = capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado de la categoría  $T$ ,  $\text{m}^3 \text{CH}_4 \text{ kg}/1$  de VS excretados

**0,67** = factor de conversión de  $\text{m}^3$  de  $\text{CH}_4$  a kilos de  $\text{CH}_4$

**MCF( $s,k$ )** = factores de conversión de metano para cada sistema de gestión del estiércol  $S$  por región climática  $k$ , %

**MS( $t,s,k$ )** = fracción del estiércol del ganado de la categoría  $T$  manejado usando el sistema de gestión de desechos  $s$  en la región climática  $k$ , sin dimensión.



### 1.3 Instrumento<sup>52</sup>

FICHA DE OBSERVACION DE HATO LECHERO		
<b>UBICACIÓN:</b>		
<b>PROPIETARIO:</b>		
<b>TIPO DE SISTEMA PRODUCTIVO:</b>		
<b>FECHA:</b>		
COMPOSICIÓN DEL HATO		
CATEGORÍA	NÚMERO	PESO $\mu$ (Kg)
VACAS EN LACTACIÓN		
VACAS EN SECA		
RECRÍA		
COMPOSICIÓN DE LA RACIÓN (kg MS/vaca/día)		
INDICADOR		
Composición		
Consumo de Alfalfa		
Consumo Ensilado		
Consumo de otros forrajes		
Concentrado		
<b>Gestión (Disposición excretas)</b>		
▪ Pastura/Prado/Pradera		
▪ Distribución diaria		
▪ Almacenaje de sólidos		
▪ Líquido/Fango		
▪ Laguna anaeróbica no cubierta		
▪ Digestor anaeróbico		
▪ Pastura/Prado/Pradera		
<b>Estimación de la Energía Bruta de los alimentos (Mcal/kg de MS)</b>		
<b>Digestibilidad de la ración (%)</b>		
<b>Producción promedio de leche</b>		
<b>% de grasa en la leche</b>		
<b>Peso promedio de las vacas</b>		
RESULTADOS		

<sup>52</sup> Francisco Franco, Validación experta de Instrumento, Pág. 01. ( Ver anexo Nro. 01)

## 1.4 Equipos y Materiales

- Equipo portátil de cómputo
- Ficha de Observación (Instrumento)
- Software de Base de datos
- Tablas de composición químico nutricional
- Software de análisis de datos
- GPS
- Material de escritorio
- Material de campo

## 2. Campos de Verificación

### 2.1. Ubicación espacial

La presente investigación se desarrollará en la Irrigación Majes, Distrito de Majes, Provincia de Caylloma, Departamento de Arequipa.

Límites geográficos:

Noroeste : Provincia de Caylloma  
Oeste : Huancarqui y Uraca, Provincia de Castilla  
Suroeste : Nicolás de Piérola y Quilca, Provincia de Camaná

Esta área se encuentra a una altitud de 1 498 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.

La Irrigación de Majes se encuentre en la ubicación geográfica de: Latitud Sur 16° 20' 08,35" y Longitud Oeste 72° 09' 09.56" (MAP, 805 Pampa de Majes. SENAMHI, 2012)

### 2.2. Ubicación temporal

El estudio se desarrollará durante los meses de enero a mayo del año 2013.

### 2.3. Unidades de estudio

Cada hato lechero se considerará como una unidad de estudio (12 hatos en cada sistema de alimentación). Los criterios de inclusión para cada hato se realizarán de acuerdo a su sistema de alimentación y manejo productivo.

## 3. Estrategia de recolección de datos

### 3.1. Organización

La colección de datos se realizará de acuerdo al Instrumento diseñado para el presente estudio y comprenderá a 12 hatos lecheros diferenciados por cada sistema de manejo productivo, estos hatos serán elegidos dentro de la Irrigación Majes. Los hatos serán seleccionados de las secciones A, B, C, D y E, en coordinación con los datos proveídos por AUTODEMA y previa entrevista con los productores.

Para la validación del instrumento, se realizará 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, y se determinará la composición del hato, el consumo de cada uno de los componentes de la dieta diaria de los animales y la gestión de las excretas (disposición), para posteriormente aplicar de la ecuación diseñada por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2006), finalmente se extrapolará la emisión de metano, multiplicando la emisión individual por animal en cada uno de los sistemas por la cantidad total de animales en cada sistema de manejo y alimentación, metodología sugerida por el IPCC (2006); del mismo modo, se determinará la producción de metano por animal dentro de cada sistema.

### 3.2. Recursos

#### a. Recursos Humanos

Representado por el investigador que aplicará la ficha de observación e instrumento de evaluación a todos los ganaderos de los hatos seleccionados de la sección A, B, C, D y E.

#### b. Recursos Físicos e institucionales

Se usará la logística del investigador para la aplicación del instrumento de evaluación y Estimación mediante Ecuaciones sumativas validadas por IPCC.

### 3.3. Validación del instrumento

El instrumento fue validado por el M.Sc. Ing. Zoot. Francisco Franco Febres. Investigador de gases de Efecto Invernadero producidos por la Ganadería, perteneciente a la Estación Experimental del Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura, IVITA – MARANGANI, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (Ver anexo Nro. 01)

La validación de campo del instrumento se realizó mediante una prueba piloto en el establo de la Universidad Católica de Santa María y en un hato lechero de un sistema semi intensivo, con el fin de que sea objetivo, válido y confiable. Como preámbulo a la validación se planifico y ejecutó una charla al personal de apoyo, alumnos del PPMVZ-UCSM.

### 3.4. Criterio para el manejo de los resultados

Para determinar la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas se utilizará la prueba de Kolmogorov - Smirnov y el Estadístico de Levene, utilizando para ello el programa SPSS 19<sup>53</sup>.

---

<sup>53</sup> SPSS V19. 2010. Manual del usuario del sistema básico de IBM SPSS Statistics 19.

Para realizar el análisis estadístico de las emisiones de CH<sub>4</sub>/animal/año, las emisiones de CH<sub>4</sub> por cada litro de leche producida dentro de cada sistema, se aplicará un diseño completo al azar, empleando el procedimiento ANOVA del programa SAS (SAS V9.0, 2002)<sup>54</sup>, y la prueba de Duncan para la comparación de medias ( $\alpha=0.05$ )(Calzada, 1970)<sup>55</sup>.

Se utilizará el modelo matemático lineal siguiente:

$$y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Dónde:

$y_{ij}$  = Kg. CH<sub>4</sub>

$\mu$  = Efecto de la media poblacional

$T_i$  = Efecto del i-ésimo sistema

$e_{ijk}$  = Efecto del error experimental distribuido uniformemente

La separación de promedios en cada factor se realizará por medio de la prueba de mínimos cuadrados, se usará un valor de 95% de probabilidad para considerar diferencias estadísticas; (Calzada, 1970). El procesamiento de esta información se realizará con el procedimiento General Linear Model del Programa SAS V8.0 (1999).

#### IV. Cronograma de trabajo

Actividad/Mes	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Recolección de datos</b>								
<b>Estructuración de resultados</b>								
<b>Informe final</b>								

<sup>54</sup> SAS V 9. 2002. User Manual SAS Institute Inc, Cary, NC. USA

<sup>55</sup> Calzada, J. 1970. Métodos Estadísticos para la Investigación. Editorial Jurídica. Lima-Perú.

## V. Bibliografía básica

- 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.
- Anderson, K.L., T.G. Nagaraja, J.L. Morrill, T.B. Avery, S.J. Galitzer y J.E. Boyer. 1987. Ruminal microbial development in conventionally or early-weaned calves. *J. Anim. Sci.*, 64: 1215-1226.
- 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*.
- 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.
- Berra, G. y L. Finster. 2005. Influencia de la ganadería argentina: Emisión de Gases de Efecto Invernadero. *Boletín INTA – Castelar. Argentina*.
- Blaxter, K.L. y J.L. Clapperton. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Brit. J. Nutr.*, 19: 511-522.
- 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.
- 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.
- Chatellier, V., Verite, R. 2003. *INRA Productions Animales*, 16, 231-249.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- Ensminger, M.E., Oldfield, J.E. y Heinemann, W.W. 1990. Feeds and Nutrition. 2 ed.. The Ensminger Publishing Company, Clovis, California, USA.
- Espinoza. M. 2007. Efecto del suplemento energético en la dieta sobre la dinámica del nitrógeno en vacas lecheras HolsteinFriesian de la Irrigación Majes, Arequipa. Tesis FMVZ – UNA – Puno.
- Ewan R.C. 1989. En: Energy Metabolism of Farm Animals. (Eds: Y. van der Honing and W.H. Close). Pudoc, Wageningen, pp. 215-218.
- Fernández, M.; García M. y Carlos Gómez. 2010. Emisión de Metano y Sistemas de Producción Animal en el Perú: Implicancias Nutricionales.
- Florez, A. y Malpartida E. 1998. Manual de Pastos y Forrajes. Banco Agrario. Lima. Perú.
- García O, y Gómez, C. 2006. The economics of milk production in Cajamarca. PPLPI Working paper N-34. FAO.
- Gaudín G. 2010. Agricultura a gran escala afectan equilibrio ecológico. Noticias Aliadas. Cambio climático: Seguridad Alimentaria, agua & protección de bosques. Buenos Aires – Argentina.
- 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.).
- 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.
- Gómez, C. 2011. Resúmenes del Simposio Internacional de Ganadería y Cambio Climático. UNALM. Lima, 14 de Julio de 2011.
- Hemme T. 2008. IFCN Dairy Report. International Farm Comparison Network. IFCN Dairy Research Center. Kiel, Germany.
- 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.

- IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 4. Agriculture. IPPC/OECD/IEA. Paris. 140 p.
- 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.
- 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.
- 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.
- Jensen, B.B. 1996. Methanogenesis in monogastric animals. Environ. Monit. Assess., 42: 99-112.
- Johnson, D.E. y G.M. Ward. 1995. Estimates of animal methane emissions. Environ. Monit. Assess., 42: 133-141.
- 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.
- Johnson, K.A. y D.E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. J. Anim. Sci., 73: 2483-2492.
- 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.
- Khalil, N.A.K., R. A. Rasmussen, and F. Moraes. 1993. Atmospheric methane at CapeMeares: analysis of a high-resolution data base and its environmental implications. J. Geophys. Res. 98: 14753.
- Leng, R. A. 1993. Quantitative ruminant nutrition - A green science. Australian Journal of Agricultural Research 44: 363-80.
- Lorente Saiz, A. 2010. Licenciatura de Geografía. Universidad de Alicante (España).
- Maynard L. A., J. K. Loosli, H. F. Hintz y R. G. Warner. 1979. Nutrición Animal. 4ta Ed.. McGraw-Hill. Mexico.
- McCaughey W, Wittenberg K, Corrigan D. 1997. Methane production by steers on pasture. Can J An Sc,; 76 (3): 519-524.
- 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.
- 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.
  - 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. FeedSci. Tech.*, 55: 9-33.
  - Moss, A.R., J.P. Jouany y J. Newbold. 2000.Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.*, 49: 231-253.
  - 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.
  - Preston TR, Leng RA. Friendly development. *Livestock Research for Rural Development*, 1(1), November, 1989.
  - 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.
  - Seinfeld, J.H. y S.N. Pandis. 1998. Atmospheric chemistry and physics of air pollution. John Wiley & Sons, Nueva York. 1326 p.
  - SENAMHI. 2012. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía. Estación Meteorológica La Colina – Irrigación Majes.
  - 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.
  - 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.
  - Torres, J. Zegarra, J. y V. Vélez. 2010. Tabla de de Composición Química Nutricional de Alimentos y Forrajes. PIEA-INCAAGRO. Universidad Católica de Santa María.

- UNFCC. 2007. Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera en base al Manual de Referencia IPCC y UNFCC. Submission 2007. Spain. CRF. Inventory 2005.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2º Ed. Comstock. Cornell University Press. 476 pp.
- Wuebbles, D.J. y K. Hayhoe. 2002. Atmospheric methane and global change. Earth-Sci. Rev., 57: 177-210.



**Anexo Nro. 01**

Srs.

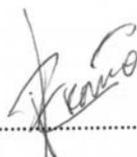
Escuela de Postgrado

Universidad Católica de Santa María

Arequipa.

Por medio de la presente, el que suscribe, Francisco Franco Febres; Ing. Zoot. Mg.Sc., Investigador en Gases de Efecto Invernadero producidos por la Ganadería, perteneciente a la Estación Experimental del Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura, IVITA – MARANGANI, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, opina que el trabajo de investigación, denominado ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO PRODUCIDAS POR LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL PROVENIENTE DE VACUNOS LECHEROS EN LA IRRIGACIÓN MAJES - AREQUIPA, desarrollado por el Sr. Juan Reátegui Ordoñez; puede ser ejecutado dado que la metodología para su desarrollo se encuentra validada según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), entidad oficial que regula las metodologías a nivel mundial para estimar la emisión de gases de efecto invernadero.

Lima, 13 de diciembre del 2012



Francisco Franco Febres; Ing. Zoot. Mg.Sc.,

Director IVITA – MARANGANI

Anexo Nro. 02

ECUACIONES Y COEFICIENTES REFERENCIADAS POR EL IPPC 2006.

FACTORES DE EMISIÓN DE METANO POR GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL POR TEMPERATURA PARA VACUNOS, PORCINOS Y BÚFALOS (KG CH<sub>4</sub> CABEZA/AÑO) EN AMERICA LATINA

		Factores de emisión de CH <sub>4</sub> según la temperatura promedio anual (°C) <sup>b</sup>																					
		Frio					Templado													Cálido			
		≤ 10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	≥ 28			
<b>América Latina:</b> Casi todo el estiércol del ganado se gestiona como sólidos en pasturas y prados. El estiércol de los búfalos se deposita en pasturas y prados.	Vacas lecheras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	Otros vacunos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Porcinos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	Búfalos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2

## DIGESTIBILIDAD ALIMENTARIA REPRESENTATIVA DE LAS DISTINTAS CATEGORIAS DE GANADO

Categorías principales	Clase	Digestibilidad (DE%)
Porcinos	1. Porcinos maduros - confinados	4. 70 - 80%
	2. Porcinos en crecimiento - confinados	5. 80 - 90%
	3. Porcinos - «a campo»	6. 50 - 70% <sup>1</sup>
Vacunos y otros rumiantes	7. Animales de corral alimentados con >90% de dieta concentrada;	10. 75 - 85%
	8. Animales alimentados con pasturas;	11. 55 - 75%
	9. Animales alimentados con forraje de baja calidad	12. 45 - 55%
Aves de corral	13. Pollos parrilleros - confinados	18. 85 - 93%
	14. Gallinas ponedoras - confinadas	19. 70 - 80%
	15. Aves de corral - «a campo»	20. 55 - 90% <sup>1</sup>
	16. Pavos - confinados	21. 85 - 93%
	17. Gansos - confinados	22. 80 - 90%

<sup>1</sup> El rango de digestibilidad de los alimentos consumidos por porcinos y aves criados «a campo» es extremadamente variable debido a la naturaleza selectiva de estas dietas. A menudo, es factible que la cantidad de estiércol producida por estas clases esté limitada por la cantidad de alimentos disponibles para el consumo y por su grado de digestibilidad. En instancias en las que el alimento no sea un factor limitante y en que haya fuentes de alimentos de alta calidad a disposición para el consumo, la digestibilidad puede aproximarse a valores similares a los medidos bajo condiciones de confinamiento.

## TASAS DE EXCRECIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

$$VS = \left[ GE \cdot \left( 1 - \frac{DE\%}{100} \right) + (UE \cdot GE) \right] \cdot \left[ \frac{1 - CENIZA}{18,45} \right]$$

Donde:

VS = excreción de sólidos volátiles por día en base a materia orgánica seca, kg VS día<sup>-1</sup>

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

DE% = digestibilidad del alimento en porcentaje (p. ej., 60%)

(UE • GE) = energía urinaria expresada como fracción de la GE. Habitualmente, se puede considerar una excreción de energía urinaria de 0,04 GE para la mayoría de los rumiantes (reducir a 0,02 para rumiantes alimentados con 85% o más de grano en la dieta o para porcinos). Utilizar valores específicos del país si se dispone de ellos.

CENIZA = el contenido de ceniza del estiércol calculado como fracción de la ingesta alimentaria de materia seca (p. ej., 0,08 para vacunos).

Utilizar valores específicos del país si se dispone de los mismos.

18.45 = factor de conversión para GE dietaria por kg de materia seca (MJ kg<sup>-1</sup>). Este valor es relativamente constante en toda una gama de forrajes y de alimentos basados en granos que consume regularmente el ganado.



**ANEXO Nro. 02**

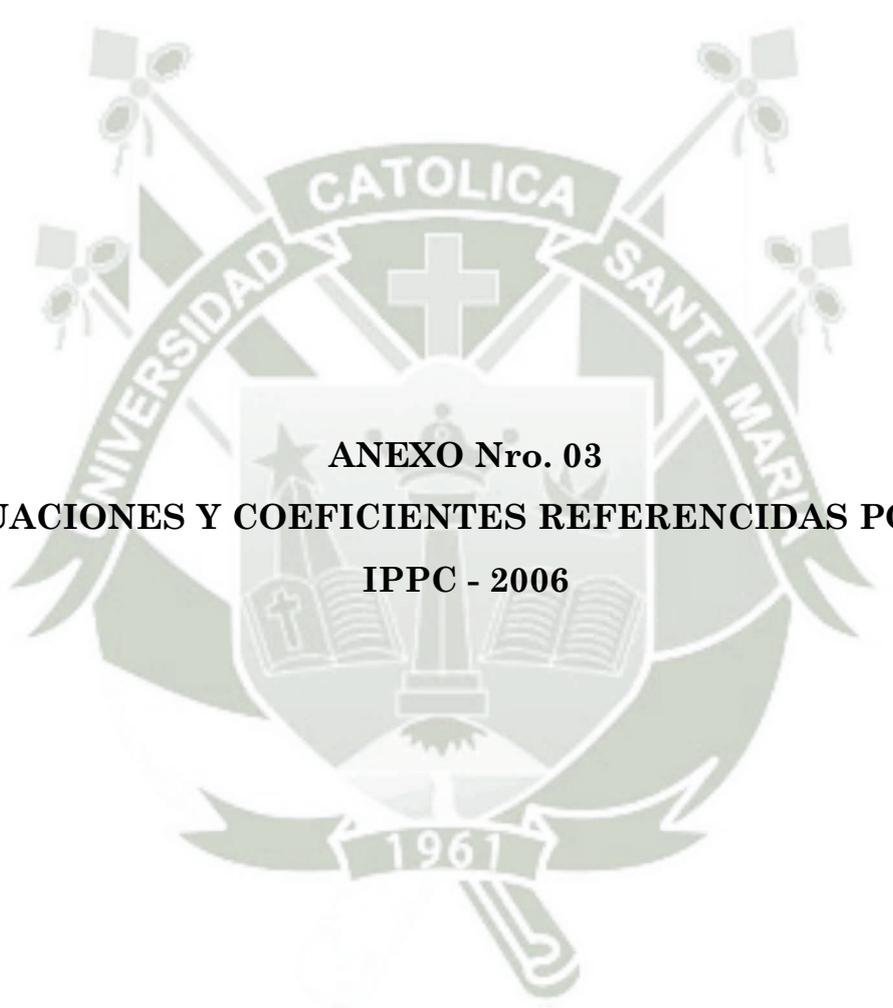
**MATRICES DE SISTEMATIZACIÓN**

**Sistema de producción: INTENSIVO**

<b>DATOS GENERALES</b>	<b>Establo 1</b>	<b>Establo 2</b>	<b>Establo 3</b>	<b>Establo 4</b>	<b>Establo 5</b>	<b>Establo 6</b>	<b>Establo 7</b>	<b>Establo 8</b>	<b>Establo 9</b>	<b>Establo 10</b>	<b>Establo 11</b>	<b>Establo 12</b>
UBICACIÓN	Sección B	Sección D	Sección D	Sección D	Sección B	Sección B	Sección D	Sección E	Sección A	Sección E	Sección B	Sección C
PROPIETARIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TIPO DE SISTEMA	Intensivo	Intensivo	Intensivo									
<b>COMPOSICIÓN DEL HATO</b>												
<b>CATEGORÍA</b>												
- Vacas Producción	63	25	53	90	86	88	23	43	22	35	62	210
- Vacas Fase I ( Alta Prod.)	25	9	22	34	27	36	11	23	16	14	29	71
- Vacas Fase II (Media y Baja Prod.)	38	16	31	56	59	52	12	20	6	21	33	139
- Vacas en seca	9	2	6	15	16	13	8	9	7	7	17	45
<b>- Total Vacas Hato</b>	<b>72</b>	<b>27</b>	<b>59</b>	<b>105</b>	<b>102</b>	<b>101</b>	<b>31</b>	<b>52</b>	<b>29</b>	<b>42</b>	<b>79</b>	<b>255</b>
<b>PESO PROMEDIO (kg)</b>	<b>600.00</b>	<b>610.00</b>	<b>580.00</b>	<b>620.00</b>	<b>580.00</b>	<b>650.00</b>	<b>620.00</b>	<b>630.00</b>	<b>550.00</b>	<b>570.00</b>	<b>550.00</b>	<b>540.00</b>
<b>COMPOSICIÓN DE LA RACIÓN (kg MS/vaca/día)</b>												
<b>INSUMO</b>												
Consumo de alfalfa	2.30		3.33	12.00			4.50		2.00			
Consumo ensilado	35.33	45.83	30.00	34.00	44.00	33.33	32.00	41.67	38.33	43.67	43.33	34.00
Consumo de otros forrajes						2.67						20.00
Consumo de otros forrajes												7.50
Concentrado	7.04	8.81	8.57	8.91	6.32	9.33	6.50	9.14	6.50	6.82	4.39	6.00
<b>CONSUMO M.S. (kg)</b>	<b>19.24</b>	<b>21.22</b>	<b>19.85</b>	<b>20.64</b>	<b>19.33</b>	<b>21.08</b>	<b>19.73</b>	<b>21.14</b>	<b>19.43</b>	<b>19.24</b>	<b>18.42</b>	<b>19.36</b>
<b>GESTIÓN DE EXCRETAS</b>												
<b>DISPOSICIÓN DE EXCRETAS</b>												
Pastura/Prado/Pradera												
Distribución diaria en corral	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Almacenaje de sólidos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Líquido/Fango												
Laguna anaeróbica no cubierta												
Digestor anaeróbico												
<b>PRODUCCION DE LECHE (kg/día)</b>												
Producción promedio de leche (kg/día)	<b>1760.00</b>	<b>690.00</b>	<b>1276.00</b>	<b>2925.00</b>	<b>1998.00</b>	<b>3148.00</b>	<b>610.00</b>	<b>1660.00</b>	<b>520.00</b>	<b>900.00</b>	<b>1300.00</b>	<b>4050.00</b>
Promedio vaca producción (kg/día)	27.94	27.60	24.08	32.50	23.23	35.77	26.52	38.60	23.64	25.71	20.97	19.29
Promedio vaca hato (kg/día)	24.44	25.56	21.63	27.86	19.59	31.17	19.68	31.92	17.93	21.43	16.46	15.88
Contenido de grasa en la leche (%)												

**Sistema de producción: SEMI-INTENSIVO**

<b>DATOS GENERALES</b>	<b>Establo 1</b>	<b>Establo 2</b>	<b>Establo 3</b>	<b>Establo 4</b>	<b>Establo 5</b>	<b>Establo 6</b>	<b>Establo 7</b>	<b>Establo 8</b>	<b>Establo 9</b>	<b>Establo 10</b>	<b>Establo 11</b>	<b>Establo 12</b>
UBICACIÓN	Sección A	Sección E	Sección E	Sección D	Sección E	Sección B	Sección C					
PROPIETARIO	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
TIPO DE SISTEMA	Mixto	Mixto	Mixto									
<b>COMPOSICIÓN DEL HATO</b>												
<b>CATEGORÍA</b>												
- Vacas Producción	14	13	14	19	12	9	20	14	13	13	14	12
- Vacas Fase I ( Alta Prod.)	5	5	5	7	2	4	12	6	5	5	5	6
- Vacas Fase II (Media y Baja Prod.)	9	8	9	12	10	5	8	8	8	8	9	6
- Vacas en seca	6	3	4	2	8	2	12	6	3	2	1	6
<b>- Total Vacas Hato</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>11</b>	<b>32</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>18</b>
<b>PESO PROMEDIO (kg)</b>	<b>480.00</b>	<b>550.00</b>	<b>480.00</b>	<b>550.00</b>	<b>520.00</b>	<b>520.00</b>	<b>510.00</b>	<b>530.00</b>	<b>520.00</b>	<b>520.00</b>	<b>510.00</b>	<b>520.00</b>
<b>COMPOSICIÓN DE LA RACIÓN (kg MS/vaca/día)</b>												
<b>INSUMO</b>												
Consumo de alfalfa	33.00	31.00	27.00	57.00	30.00	33.00	18.00	18.00	22.00	45.00	40.00	10.00
Consumo ensilado	19.67	16.87	35.50		18.33	25.00	40.00	29.67	15.33		14.67	8.33
Consumo de otros forrajes		0.30	0.50						2.00			9.31
Consumo de otros forrajes		1.00	0.66						1.50			
Concentrado	1.68	4.80	2.14	2.00	2.70	2.27	4.94	2.55	3.35	2.24	3.15	4.50
<b>CONSUMO M.S. (kg)</b>	<b>15.99</b>	<b>18.04</b>	<b>13.59</b>	<b>17.72</b>	<b>14.92</b>	<b>18.12</b>	<b>19.65</b>	<b>15.41</b>	<b>15.41</b>	<b>13.04</b>	<b>17.63</b>	<b>15.72</b>
<b>GESTIÓN DE EXCRETAS</b>												
<b>DISPOSICIÓN DE EXCRETAS</b>												
Pastura/Prado/Pradera	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Distribución diaria en corral	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Almacenaje de sólidos												
Líquido/Fango												
Laguna anaeróbica no cubierta												
Digestor anaeróbico												
<b>PRODUCCIÓN DE LECHE (kg/día)</b>												
Producción promedio de leche (kg/día)	<b>214.00</b>	<b>278.00</b>	<b>259.00</b>	<b>420.00</b>	<b>150.80</b>	<b>178.20</b>	<b>426.50</b>	<b>225.00</b>	<b>218.00</b>	<b>200.00</b>	<b>203.00</b>	<b>240.00</b>
Promedio vaca producción (kg/día)	15.29	21.38	18.50	22.11	12.57	19.80	21.33	16.07	16.77	15.38	14.50	20.00
Promedio vaca hato (kg/día)	10.70	17.38	14.39	20.00	7.54	16.20	13.33	11.25	13.63	13.33	13.53	13.33
Contenido de grasa en la leche (%)												



**ANEXO Nro. 03**  
**ECUACIONES Y COEFICIENTES REFERENCIDAS POR EL**  
**IPPC - 2006**

La estimación de la emisión de  $\text{CH}_4$  por la gestión del estiércol se calculó con las ecuaciones proveídas por el IPCC (2006), para fines de la presente investigación, estriba en las diferencias inherentes al sistema de producción de vacunos bajo condiciones de la Irrigación Majes.

### **Diferencias en la gestión del estiércol:**

Las características del sistema de gestión del estiércol: incluye los tipos de sistemas empleados para gestionar el estiércol y un factor de conversión de metano específico del sistema (MCF, del inglés *methane conversion factor*) que refleja la porción de la cantidad máxima de metano que puede producir ese estiércol.

Se utilizan evaluaciones regionales de los sistemas de gestión del estiércol para estimar la porción de éste que se maneja con cada una de las técnicas de gestión del estiércol.

Debe incluir una descripción de los sistemas de gestión del estiércol. El MCF del sistema varía según la forma en la que se gestiona el estiércol y con el clima; teóricamente, puede oscilar entre un 0 y un 100%.

Tanto la temperatura como el tiempo de retención desempeñan un papel importante en el cálculo del MCF. El estiércol que se gestiona como líquido bajo condiciones de calor y durante un lapso prolongado es fuente de formación de metano. Estas condiciones de gestión del estiércol pueden tener MCF altos, del 65 al 80%. El estiércol que se gestiona como material en seco en climas fríos no produce metano fácilmente y, por lo tanto, tiene un MCF de aproximadamente 1%.

Observe a continuación las ecuaciones referenciadas por el IPCC para el 2006

## DIFERENCIAS EN LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

### ECUACIÓN 10.23

#### FACTOR DE EMISIÓN DE CH<sub>4</sub> DE LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \cdot 365) \cdot \left[ B_{\alpha(T)} \cdot 0,67 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \sum_{S,k} \frac{MCF_{(S,k)}}{100} \cdot MS_{(T,S,k)} \right]$$

Este término de la ecuación se modificó de acuerdo al sistema observado en la irrigación Majes

Donde:

$EF_{(T)}$  = factor de emisión anual de CH<sub>4</sub> para la población de ganado categoría  $T$ , kg CH<sub>4</sub> animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>

$VS_{(T)}$  = sólidos volátiles excretados por día en la categoría de ganado  $T$ , kg materia seca animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>

365 = base para calcular la producción anual de VS, día año<sup>-1</sup>

$B_{\alpha(T)}$  = capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado de la categoría  $T$ , m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> de VS excretados

0,67 = factor de conversión de m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> a kilos de CH<sub>4</sub>

$MCF_{(S,k)}$  = factores de conversión de metano para cada sistema de gestión del estiércol  $S$  por región climática  $k$ , %

$MS_{(T,S,k)}$  = fracción del estiércol del ganado de la categoría  $T$  manejado usando el sistema de gestión de desechos  $S$  en la región climática  $k$ , sin dimensión

Este término de la ecuación se modificó de acuerdo al sistema observado en la irrigación Majes

## DIFERENCIAS EN TASA DE EXCRECIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES

### ECUACIÓN 10.24 TASAS DE EXCRECIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES

$$VS = \left[ GE \cdot \left( 1 - \frac{DE\%}{100} \right) + (UE \cdot GE) \right] \cdot \left[ \frac{1 - CENIZA}{18,45} \right]$$

Este término de la energía bruta variará de acuerdo al establo y al sistema

Donde:

VS = excreción de sólidos volátiles por día en base a materia orgánica seca, kg VS día<sup>-1</sup>

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

DE% = digestibilidad del alimento en porcentaje (p. ej., 60%)

(UE • GE) = energía urinaria expresada como fracción de la GE. Habitualmente, se puede considerar una excreción de energía urinaria de 0,04 GE para la mayoría de los rumiantes (reducir a 0,02 para rumiantes alimentados con 85% o más de grano en la dieta o para porcinos). Utilizar valores específicos del país si se dispone de ellos.

CENIZA = el contenido de ceniza del estiércol calculado como fracción de la ingesta alimentaria de materia seca (p. ej., 0,08 para vacunos). Utilizar valores específicos del país si se dispone de los mismos.

18.45 = factor de conversión para GE dietaria por kg de materia seca (MJ kg<sup>-1</sup>). Este valor es relativamente constante en toda una gama de forrajes y de alimentos basados en granos que consume regularmente el ganado.

La calidad del alimento en cada establo y cada sistema varía la digestibilidad de la ración

**FACTORES DE EMISIÓN DE METANO POR GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL POR TEMPERATURA PARA VACUNOS, PORCINOS Y BÚFALOS (KG CH<sub>4</sub> CABEZA/AÑO) EN AMERICA LATINA**

		Factores de emisión de CH <sub>4</sub> según la temperatura promedio anual (°C) <sup>b</sup>																						
		Frío					Templado															Cálido		
		≤ 10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	≥ 28				
<b>América Latina:</b> Casi todo el estiércol del ganado se gestiona como sólidos en pasturas y prados. El estiércol de los búfalos se deposita en pasturas y prados.	Vacas lecheras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
	Otros vacunos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Porcinos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
	Búfalos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	

## DIGESTIBILIDAD ALIMENTARIA REPRESENTATIVA DE LAS DISTINTAS CATEGORIAS DE GANADO

Categorías principales	Clase	Digestibilidad (DE%)
Porcinos	1. Porcinos maduros - confinados	4. 70 - 80%
	2. Porcinos en crecimiento - confinados	5. 80 - 90%
	3. Porcinos - «a campo»	6. 50 - 70% <sup>1</sup>
Vacunos y otros rumiantes	7. Animales de corral alimentados con >90% de dieta concentrada;	10. 75 - 85%
	8. Animales alimentados con pasturas;	11. 55 - 75%
	9. Animales alimentados con forraje de baja calidad	12. 45 - 55%
Aves de corral	13. Pollos parrilleros - confinados	18. 85 - 93%
	14. Gallinas ponedoras - confinadas	19. 70 - 80%
	15. Aves de corral - «a campo»	20. 55 - 90% <sup>1</sup>
	16. Pavos - confinados	21. 85 - 93%
	17. Gansos - confinados	22. 80 - 90%

<sup>1</sup> El rango de digestibilidad de los alimentos consumidos por porcinos y aves criados «a campo» es extremadamente variable debido a la naturaleza selectiva de estas dietas. A menudo, es factible que la cantidad de estiércol producida por estas clases esté limitada por la cantidad de alimentos disponibles para el consumo y por su grado de digestibilidad. En instancias en las que el alimento no sea un factor limitante y en que haya fuentes de alimentos de alta calidad a disposición para el consumo, la digestibilidad puede aproximarse a valores similares a los medidos bajo condiciones de confinamiento.

## TASAS DE EXCRECIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

$$VS = \left[ GE \cdot \left( 1 - \frac{DE\%}{100} \right) + (UE \cdot GE) \right] \cdot \left[ \left( \frac{1 - CENIZA}{18,45} \right) \right]$$

Donde:

VS = excreción de sólidos volátiles por día en base a materia orgánica seca, kg VS día-1

GE = ingesta de energía bruta, MJ día-1

DE% = digestibilidad del alimento en porcentaje (p. ej., 60%)

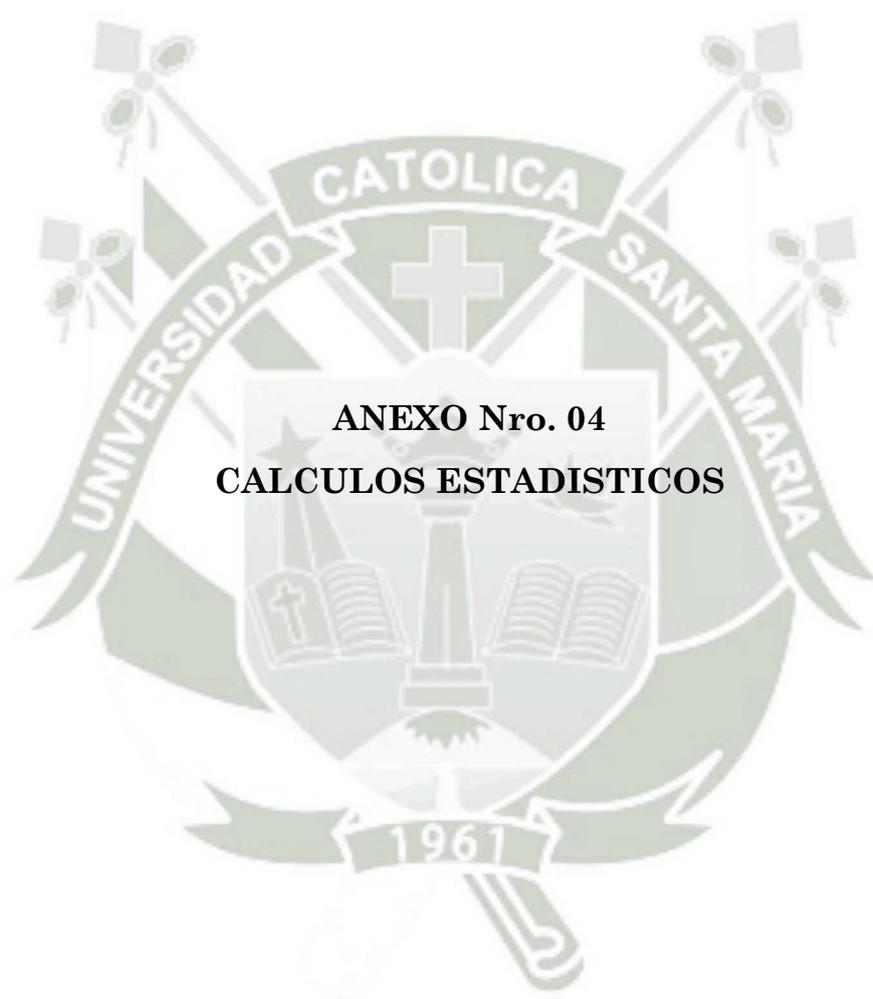
(UE • GE) = energía urinaria expresada como fracción de la GE. Habitualmente, se puede considerar una excreción de energía urinaria de 0,04 GE para la mayoría de los rumiantes (reducir a 0,02 para rumiantes alimentados con 85% o más de grano en la dieta o para porcinos). Utilizar valores específicos del país si se dispone de ellos.

CENIZA = el contenido de ceniza del estiércol calculado como fracción de la ingesta alimentaria de materia seca (p. ej., 0,08 para vacunos). Utilizar valores específicos del país si se dispone de los mismos.

18.45 = factor de conversión para GE dietaria por kg de materia seca (MJ kg-1). Este valor es relativamente constante en toda una gama de forrajes y de alimentos basados en granos que consume regularmente el ganado.

**CONSTANTES PROVEÍDAS POR EL IPCC – ESTIMACIONES MUNDIALES EFECTUADAS  
POR EL IPCC - 2006**

Table 10A-4 Manure Management Methane Emission Factor Derivation for Dairy Cows												
Annual Average Temperature (°C)		Manure Management System MCFs										
		Lagoon <sup>1</sup>	Liquid/ Slurry <sup>1</sup>	Solid Storage	Drylot	Pasture/ Range/ Paddock	Daily Spread	Digester	Burned for Fuel	Other		
Cool	10	66%	17%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%		
	11	68%	19%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%		
	12	70%	20%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%		
	13	71%	22%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%		
	14	73%	25%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%		
Temp	15	74%	27%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	16	75%	29%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	17	76%	32%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	18	77%	35%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	19	77%	39%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	20	78%	42%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	21	78%	46%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	22	78%	50%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	23	79%	55%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	24	79%	60%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
	25	79%	65%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%		
Warm	26	79%	71%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%		
	27	80%	78%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%		
	28	80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%		
Region	Dairy Cow Characteristics			Manure Management System Usage (MS%)								
	Mass <sup>a</sup> kg	B <sub>0</sub> <sup>b</sup> m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS	VS <sup>c</sup> kg/hd/day	Lagoon	Liquid/Slurry	Solid Storage	Drylot	Pasture/Range/Paddock	Daily Spread	Digester	Burned for Fuel	Other
North America <sup>d</sup>	604	0.24	5.4	15.0%	27.0%	26.3%	0.0%	10.8%	18.4%	0.0%	0.0%	2.6%
Western Europe	600	0.24	5.1	0.0%	35.7%	36.8%	0.0%	20.0%	7.0%	0.0%	0.0%	0.5%
Eastern Europe	550	0.24	4.5	0.0%	17.5%	60.0%	0.0%	18.0%	2.5%	0.0%	0.0%	2.0%
Oceania	500	0.24	3.5	16.0%	1.0%	0.0%	0.0%	76.0%	8.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Latin America	400	0.13	2.9	0.0%	1.0%	1.0%	0.0%	36.0%	62.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Africa	275	0.13	1.9	0.0%	0.0%	1.0%	0.0%	83.0%	5.0%	0.0%	6.0%	4.0%
Middle East	275	0.13	1.9	0.0%	1.0%	2.0%	0.0%	80.0%	2.0%	0.0%	17.0%	0.0%
Asia	350	0.13	2.8	4.0%	38.0%	0.0%	0.0%	20.0%	29.0%	2.0%	7.0%	0.0%
Indian Subcontinent	275	0.13	2.6	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	27.0%	19.0%	1.0%	51.0%	0.0%
<sup>a</sup> Average dairy cow mass for each region (default estimates are =10%)				<sup>1</sup> Lagoon and Liquid/Slurry MCFs are calculated based on the van't Hoff-Arrhenius equation relating temperature to biological activity. Lagoon MCFs are also calculated based on longer (up to a year) retention times. [Mangino, et. al (2001)]								
<sup>b</sup> B <sub>0</sub> estimates are =15%												
<sup>c</sup> Average VS production per head per day for the average dairy cow (default estimates are =20%)												
<sup>d</sup> For North America, "Other" manure management system MCFs represent deep pits, which have the same MCF values as Liquid/Slurry.												



**Tasa de excreción de sólidos volátiles en establos lecheros diferenciados por Sistema de Producción en la Irrigación Majes**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F. Value	Pr > F
Model	1	5.89050417	5.89050417	8.40	0.0083
Error	22	15.43159167	0.70143598		
Corrected Total	23	21.32209583			

**Digestibilidad de la ración en establos lecheros diferenciados por Sistema de Producción en la Irrigación Majes**

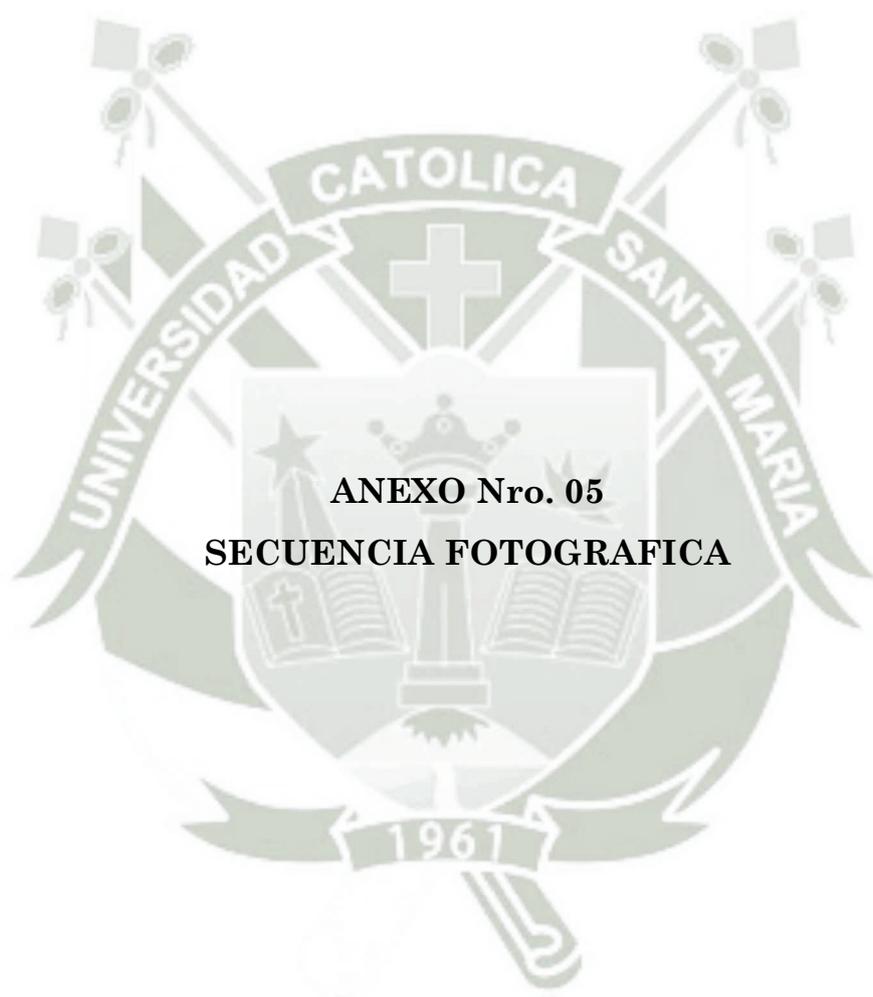
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F. Value	Pr > F
Model	1	320.6897042	320.6897042	81.83	<0.0001
Error	22	86.2173917	3.9189723		
Corrected Total	23	406.9070958			

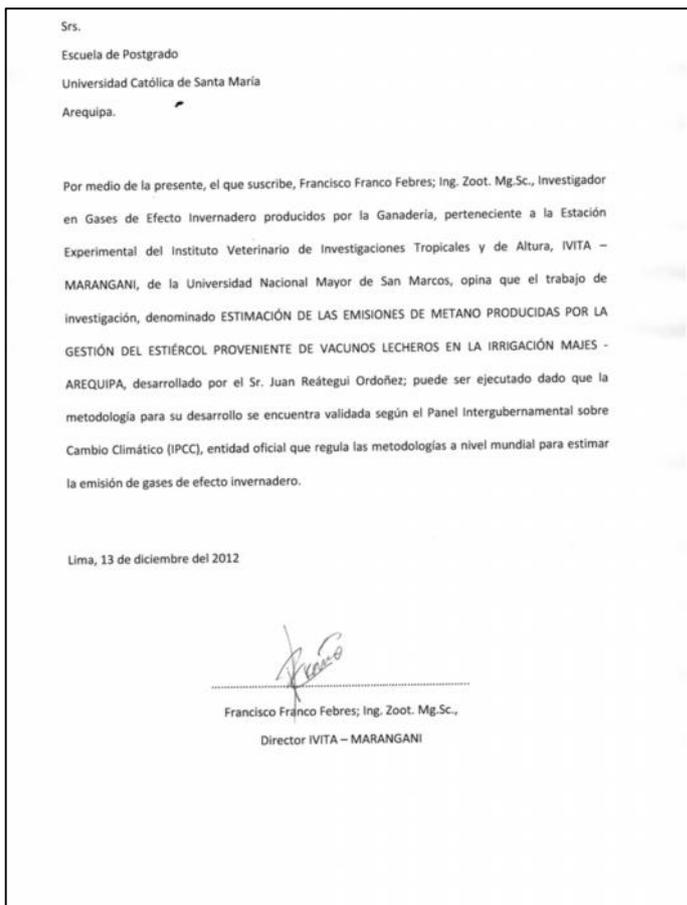
**Energía bruta de la ración en establos lecheros diferenciados por Sistema de Producción en la Irrigación Majes**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F. Value	Pr > F
Model	1	3065.46407	3065.46407	2.00	0.1710
Error	22	33667.43187	1530.33781		
Corrected Total	23	36732.89593			

**Emisión de metano (CH<sub>4</sub>/kg/año/cabeza) por establo y sistema de producción producida por la gestión de estiércol de vacunos lecheros en Establos con Sistema de Alimentación Intensiva en la Irrigación Majes**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F. Value	Pr > F
Model	1	0.17681667	0.17681667	8.47	0.0081
Error	22	0.45931667	0.02087803		
Corrected Total	23	0.63613333			





**Foto Nro. 01.**

**Juicio de experto:** el instrumento fue validado por el M.Sc. Ing. Zoot. Francisco Franco Febres. Investigador de gases de Efecto Invernadero producidos por la Ganadería. IVITA – MARANGANI. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.



**Foto Nro. 02.**

**Charla personal apoyo:** previamente a la validación del instrumento se realizó un charla al personal de apoyo (alumnos del PPMVZ-UCSM)



Foto Nro. 03.

**Validación del Instrumento:** prueba piloto en el establo de la Universidad Católica de Santa María y en un hato lechero de un sistema semi intensivo, con el fin de que sea objetivo, válido y confiable.

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTA MARÍA  
Centro de Producción de Leche y Servicios  
Cuadro Nro. 1 Producción y reproducción al 30-09-13

ASC	Nombre	Año	GENÉTICA	F. Res.	Condición	F. U.P.	Valor (lit.)
1	Alma	1-11	SARAH ALVIN 29H01338	05-10-08	Inducción	11-09-13	
2	Angela	C-604	LA FLORES GENEVA 29H01194	17-10-10	Producción	10-06-13	
3	Alma	C-605	MARIE-CRISTE 29H01028	24-05-05	Producción	13-11-12	
4	Alma	C-661	ANAY GENEVA 29H01194	11-09-12	Inducción	17-02-13	
5	Alma	C-611	LUCIA FREDERICK 29H0438	08-12-08	Producción	16-04-13	
6	Alma	C-639	INA Y FABRIZO 29H01072	02-08-07	Producción	30-08-13	
7	Alma	C-637	KATJUSKA EMR	09-04-08	seca		
8	Alma	C-594	DETVY EMMA 100358	15-02-08	Producción	19-12-12	
9	Alma	C-595	MARIA FREDERICK 29H0438	05-11-08	Producción	15-12-12	
10	Alma	C-580	EMMA DE HAROLD 29H0438	09-07-07	Producción	19-05-13	
11	Alma	C-588	ESTELA EMR A1100358	27-02-08	Producción	28-12-12	
12	Alma	C-616	FABRIZO EMR A1100358	01-06-07	Producción	11-02-13	
13	Alma	C-641	MARINA PROSPECT 29H010312	23-11-08	Producción	11-07-13	
14	Alma	C-613	BELENA HE SS 29H010241	14-11-08	Producción	08-11-12	
15	Alma	C-606	LUCY COLEMAN 29H01189	15-01-10	Producción	17-01-13	
16	Alma	C-632	EMMA COLEMAN 29H01189	09-06-08	Producción	11-03-13	
17	Alma	C-607	EMMA COPPOLA A 110235	10-07-08	Producción	11-07-13	
18	Alma	C-602	MARINA GENEVA 29H01194	28-08-10	Producción	26-02-12	
19	Alma	C-625	YESSICA TOJO A11-431	30-03-09	seca		
20	Alma	C-621	SANCHA CRISTO A 11-00338	14-02-09	seca		
21	Alma	C-589	FRANCA JACKSON 19H07850	07-05-05	Producción	Inducción Lactea	
22	Alma	C-534	PELONA BLITZ 19H0528	02-09-05	Producción	02-06-13	
23	Alma	C-538	CAROLINA TOJO A11-431	01-04-08	Producción	13-12-12	
24	Alma	C-626	WENDY COLEMAN 29H01089	22-05-09	Aborto	12-04-13	
25	Alma	C-643	LUCY GENEVA 29H01048	30-12-10	Producción	13-07-2013	
26	Alma	C-597	MALU DANDY	07-04-08	Producción	28-08-11	
27	Alma	C-642	BELENA SNAP SHOT 29H010807	07-12-09	Producción	09-09-13	
28	Alma	C-574	PATY EMR A1100358	06-04-07	seca		
29	Alma	C-608	MELISSA TASHA A1100311	13-07-08	Producción	22-05-13	
30	Alma	C-608	RAGUEL EMR A1100357	19-05-08	Producción	22-05-12	
31	Alma	C-602	MARISKA EMR A1100357	04-06-08	Producción	05-07-13	
32	Alma	C-577	YENISEY JETTY 29H01078	17-04-07	Producción		
33	Alma	C-581	MELISSA DE HAROLD 29H09538	09-07-07	Producción	02-08-11	
34	Alma	C-659	RAGUEL GENEVA 29H01194	16-09-10	Producción	Abt 05-11-12	
35	Alma	C-660	CINDY BOLNER	04-04-10	Producción	16-06-12	
36	Alma	C-647	MARCELA STRATUSPHERE	01-03-10	Producción	25-07-12	
37	Alma	C-591	LUCIA BOLTON 29H01111	29-10-07	Producción	13-10-12	
38	Alma	C-586	MARINA CUMULUS 29H01091	25-06-07	Producción	13-11-12	
39	Alma	C-637	MELISSA COLEMAN 29H01189	10-10-09	seca		
40	Alma	C-600	HELENA EMR A1100358	15-04-08	Producción	19-05-12	
41	Alma	C-636	SHARON SNAP SHOT 29H010907	13-08-09	Producción	20-02-12	
42	Alma	C-605	CLAVEL GENEVA 29H01194	14-11-10	Producción	09-11-12	
43	Alma	C-662	CETY JASPER	14-06-10	Producción	12-13-12	
44	Alma	C-638	LORENA PROSPECT 29H010312	21-05-09	Producción	16-09-12	
45	Alma	C-620	MARCELA HESS 29H01024	13-01-09	Producción	Inducción Lactea	
46	Alma	C-661	EMMA JASPER	15-06-10	Producción	30-09-12	
47	Alma	C-663	SARITA GENEVA 29H01194	13-10-10	Producción	15-11-12	
48	Alma	C-610	ASTRID STAFF A110468	26-07-08	Producción	04-03-13	
49	Alma	C-585	SANDRA FABRIZO 29H01072	12-08-07	Producción	13-12-12	
50	Alma	C-579	HAYDE EMR A1100358	22-06-07	Producción	08-04-13	
51	Alma	C-611	KAREN HESS 29H010241	16-06-08	Producción	07-09-13	
52	Alma	C-673	BARRY TURNER	26-01-11	seca		
53	Alma	C-593	MARCELA BOLTON 29H01111	27-10-07	Producción	Abt 06-01-13	
54	Alma	C-595	MARINA CUMULUS 29H01094	20-10-07	Producción	03-08-12	
55	Alma	C-618	MARCELA ALVIN 29H01338	05-01-09	Producción	15-04-13	
56	Alma	C-648	MARCELA STRATUSPHERE	14-03-10	Producción	Inducción Lactea	
57	Alma	C-666	FLAVIA GENEVA 29H01194	15-11-10	Producción	07-07-13	
Producción							49
Seca							8
Total							57

Foto Nro. 04

**Registro de control:** registro de productividad en un sistema intensivo



**Foto Nro. 05**

**Colección de datos:** se realizó de acuerdo al Instrumento diseñado para el presente estudio y comprende a 12 hatos lecheros diferenciados por cada sistema de manejo productivo.



**Foto Nro. 06**

**Determinación de Peso Vivo:** se realizó con el uso de cinta bovinométrica, ajustando por largo del cuerpo según la fórmula de Quetelec.





**Foto Nro. 07**

**Sistema intensivo:** se caracteriza por el estabulamiento permanente de los animales.



**Foto Nro. 08**

**Sistema semi intensivo:** se caracteriza por el pastoreo con franja diaria más la suplementación de concentrado y ensilaje en el momento del ordeño.





**Foto Nro. 09**  
**Aplicación del instrumento:** en sistema semiintensivo mediante entrevista con el propietario.



**Foto Nro. 10**  
**Aplicación del instrumento:** en sistema intensivo..



**Foto Nro. 11**

**Gestión de estiércol en sistemas intensivos:** el estiércol se gestionan como material seco, en corrales tipo tierra.



**Foto Nro. 12**

**Gestión de estiércol en sistemas intensivos:** el estiércol se seca por efectos del sol.



**Foto Nro. 13**

**Gestión de estiércol en sistemas intensivos:** el piso del corral es tratado con químicos para controlar ectoparasitos y larvas de mosca.



**Foto Nro. 14**

**Gestión de estiércol como líquido:** el estiércol es arrastrado mediante un raíl de acero.



**Foto Nro. 15**

**Gestión de estiércol como líquido:** bajo condiciones de calor y durante tiempo prolongado es fuente de formación de metano.



**Foto Nro. 16**

**Gestión de estiércol en pastoreo:** el estiércol es esparcido en la pradera y se gestiona como seco no produciendo metano fácilmente.