

# Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina

NIETO, M.I.<sup>1</sup>; GUZMÁN, M.L.<sup>2</sup>; STEINAKE, D.<sup>3</sup>

## RESUMEN

La demanda global de alimentos estimula el aumento de la producción agro-ganadera para garantizar la disponibilidad alimentaria pero, a la vez, plantea desafíos en cuanto al aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero. Existen claras evidencias que la ganadería bovina contribuye de forma importante, directa e indirectamente, a estas emisiones. Sin embargo, no es claro el aporte relativo de los diferentes subsistemas de producción ganaderos, como la cría, la recría y la terminación o engorde. En este trabajo, estimamos las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) que producen los subsistemas de cría, recría y terminación en un sistema ganadero típico de la región central Argentina, en la provincia de San Luis. Para estas estimaciones, se utilizó el nivel 2 de la metodología recomendada por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2006). Las emisiones promedio para todo el sistema fueron de 1.500 kg eq- $\text{CO}_2$  por animal al año. De este total, el 76% corresponden a las emisiones de  $\text{CH}_4$  y el 24% a las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ . En los subsistemas de cría y recría, la mayor emisión de gases también corresponde a  $\text{CH}_4$ , pero en la etapa de terminación es mayor la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$ . En la cría, la categoría vaca en lactancia fue la que tuvo mayor cantidad de emisiones de  $\text{CH}_4$  (2.407 eq- $\text{CO}_2$ /animal), seguida de la categoría toros (2.306 eq- $\text{CO}_2$ /animal); en la recría, los novillos fueron las categorías que mayor emisión de  $\text{CH}_4$  (1.100 eq- $\text{CO}_2$ /animal) y  $\text{N}_2\text{O}$  (324 eq- $\text{CO}_2$ /animal) produjeron. En terminación, emitieron mayor cantidad de  $\text{N}_2\text{O}$  la vaca cut (vaca criando último ternero) (728 eq- $\text{CO}_2$ /animal) seguida de la categoría toro (549 eq- $\text{CO}_2$ /animal). Con el análisis de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) se observó una estrecha relación entre las variables predictoras (consumo del animal y peso), como así también las variables respuestas ( $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ). A su vez, el  $\text{CH}_4$  es la variable que más se asocia a las variables de clasificación (subsistemas ganaderos) observándose mayor relación con la cría. Estas emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el ganado bovino podrían reducirse aplicando distintas estrategias tecnológicas: i) vinculadas a la *alimentación* manejando la dieta de los rumiantes; ii) relativas a la *composición del rodeo* realizando una exhaustiva selección de categorías evitando animales improductivos; iii) observando la *salud del animal* y iv) procurando ajustar la *genética* del animal al ambiente y al producto que se quiera obtener.

**Palabras claves:** metano, óxido nitroso, ganado bovino de la región central de Argentina, cambio climático.

<sup>1</sup>INTA EEA San Luis. Ruta 7 y 8 Villa Mercedes. San Luis. Correo: nieto.maria@inta.gob.ar

<sup>2</sup>CONICET. Facultad de Ingeniería y Ciencias Económicas Sociales. UNSL

<sup>3</sup>University of Regina, Dept of Biology. Regina, S4S 0A2, Canadá.

## ABSTRACT

The global food demand stimulates livestock production to ensure food availability, but it may also represent a problem in terms of increasing emissions of greenhouse gases. There are clear evidences that the cattle industry directly and indirectly contributes, in an important way, to these gases emissions. However, it is unclear the relative contribution of the each subsystems of livestock production, such as breeding, calf rearing and fattening. Here we estimate the emissions of methane ( $CH_4$ ) and nitrous oxide ( $N_2O$ ) produced by the three subsystems in a typical beef livestock system in San Luis province at central Argentina. For these estimates we used the level 2 of the methodology recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2006). The average emissions for the entire system were 1.500 kg eq- $CO_2$ , per animal and year. From this total, 76% are  $CH_4$  and 24% are  $N_2O$  emissions. In the breeding and rearing subsystems, the major emission also corresponds to  $CH_4$ , but in the fattening stage,  $N_2O$  emissions are higher. In breeding, lactating cow was the animal class that had the most amounts of  $CH_4$  emissions (2.407 kg eq- $CO_2$ /animal), followed by bulls class (2.306 kg eq- $CO_2$ /animal); in rearing, steers were the class that increased emission of  $CH_4$  (1.100 kg eq- $CO_2$ /animal) and  $N_2O$  (324 kg eq- $CO_2$ /animal), produced. In fattening, culled cows (cow breeding last calf) (728 kg eq- $CO_2$ /animal) emitted larger amount of  $N_2O$  followed by the bull class (549 kg eq- $CO_2$ /animal). With the analysis of partial least squares regression (PLS) a close relationship between the predictor variables (consumption and animal weight) as well as variable responses ( $CH_4$  and  $N_2O$ ) was observed. In turn, the  $CH_4$  is the variable that is associated with the classification variables (livestock subsystems) observed greater relationship with farming. These emissions of greenhouse gases produced by cattle could be reduced by applying different technological strategies: i) related to food handling ruminant diet ii) concerning the composition of the rodeo conducting a comprehensive selection of animal classes avoiding unproductive animals; iii) to monitor animal health and iv) seeking for adequate animal genetics to the environment and the animal products to be obtained.

**Keywords:** methane, nitrous oxide, cattle beef systems Central Region of Argentina, climate change.

## INTRODUCCIÓN

El gran desafío mundial de garantizar la disponibilidad alimentaria a toda la población a través de una mayor producción agro-ganadera debe, además, tener en cuenta y resolver otros desafíos, como por ejemplo los efectos en el cambio climático y las limitaciones sobre los recursos naturales. En este sentido el sector ganadero adquiere gran relevancia, sobre todo si se tiene en cuenta que a nivel mundial es la base de los medios de subsistencia y la disponibilidad alimentaria de casi mil millones de personas, y representa el 40% de la producción agropecuaria (FAO, 2009a).

La FAO (2009b) sugiere que la producción de alimentos y piensos tendrá que aumentar en el futuro cercano un 70% para satisfacer las necesidades calóricas y nutricionales asociadas con el aumento de la población. Además plantea como retos el uso más eficiente de los recursos naturales y la adaptación de los sistemas de producción al cambio climático.

La Argentina, como productora de carne bovina, ocupa el segundo lugar en el Mercosur, es el segundo consumidor de carne por habitante de la región y cuenta con un fuerte mercado interno que consume el 90% de lo que produce y el excedente es exportado a mercados más exigentes (Ponti, 2011).

Steinfeld *et al.* (2006) atribuyen al sector ganadero una alta participación en la problemática ambiental global. Establecen que este sector es el responsable del 18% de las emisiones

de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que emite el 9% del total del  $CO_2$  y del 37% de las emisiones de gas metano ( $CH_4$ ) provenientes de la fermentación entérica y del estiércol. Asimismo, participa con el 65% de las emisiones globales de óxido nitroso ( $N_2O$ ) y emite el 64% del amoníaco global.

Según la Segunda Comunicación Nacional para el Cambio Climático (Gobierno Argentino, 2007) en la que se analizaron y compararon todos los sectores emisores GEI a nivel país en el año 2000 (excluyendo el sector de cambio en el uso del suelo y silvicultura) el sector de energía produjo el 47% de los GEI siguiéndole el sector agro-ganadero con un 44%. Si se observan específicamente las emisiones de  $CH_4$ , el sector agro-ganadero produce el 70% de este gas mientras que la energía emite el 14,4%; por otra parte, el sector agro-ganadero produce el 96,9% de  $N_2O$  mientras que la energía emite el 1,5%. Ahora bien, si se analiza dentro del sector ganadería, únicamente la ganadería bovina, ésta emite el 28% de las emisiones. Asimismo, si se analizan las emisiones de metano por fermentación entérica ( $CH_4$  FE) observando distintos tipos de ganados, el 95,46% corresponde a la ganadería bovina, siguiéndole los ovinos con 2,48%; por metano por gestión de estiércol ( $CH_4$  GE) el 85,48%, seguida de los porcinos con el 4,10%;  $N_2O$  directo de los suelos por el ganado en pastoreo, la ganadería bovina emite el 81,77% y las emisiones de  $N_2O$  indirecto de los suelos por el estiércol del ganado el 80% (Gobierno Argentino, 2007).

Ante estos hechos, y frente a las perspectivas de crecimiento de la demanda de productos agro-ganaderos, es imperioso el conocimiento en detalle sobre la real magnitud de este fenómeno para luego buscar alternativas tendientes a disminuir éstas emisiones y así reducir los efectos negativos en el ambiente. No se trata entonces de restringir la producción ganadera debido a las emisiones de GEI que produce, sino de buscar las mejores alternativas de producción para que, ganadería y ambiente, convivan armónicamente por el bien nutricional, económico y ambiental de las generaciones futuras.

Según estimaciones de Finster y Berra (2009), entre los años 1990 y 2005 se registró un incremento del 7,7% en las emisiones de GEI del sector ganadero en Argentina. No existen, sin embargo, estimaciones específicas para la región semiárida central de la provincia de San Luis.

En este trabajo se estimaron las emisiones de metano y óxido nítrico que produce el ganado bovino en un sistema típico de la provincia de San Luis, Argentina. Estas estimaciones comparan un sistema completo y los subsistemas cría, recría y terminación. Esto permitirá distinguir en qué etapas de la producción bovina se deberían implementar mejoras tendientes a disminuir emisiones y así reducir los efectos negativos sobre el ambiente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### La ganadería bovina en San Luis

La producción ganadera bovina se distribuye en toda la superficie de la provincia de San Luis, que forma parte de la Región Central de Argentina, constituyéndose un importante medio de vida y valioso aporte económico para una gran parte de la población. Así, hay un total de 10.706 unidades productivas y está asociada a una población de 40.000 personas si se considera a una familia tipo de cuatro integrantes (Riedel y Frasinelli, 2013), siendo esta actividad de alta relevancia a nivel social en la provincia.

En San Luis predomina la ganadería bovina para carne. En cuanto a su distribución, la mayor parte se encuentra concentrada en la región sur de San Luis, los Departamentos General Pedernera y Gobernador Dupuy, (Riedel y Frasinelli 2013).

La alimentación de la ganadería bovina de San Luis puede basarse en pastizales naturales, forrajeras introducidas perennes como *buffel grass* (*Cenchrus ciliaris*), pasto llorón (*Eragrostis curvula*) y digitaria (*Digitaria eriantha*); anuales como sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) y maíz (*Zea mays*), y verdes anuales de invierno como centeno (*Secale cereale* L.), triticale (*Triticum spp x secale cereale*) y avena (*Avena sativa*). Esta alimentación de la ganadería bovina depende de la ubicación geográfica en que se encuentre en la provincia (Aguilera, 2003; Frasinelli *et al.*, 2003).

De acuerdo a la cantidad de ganado bovino que posea el productor, se pueden considerar varios estratos, destacándose que el estrato que dispone entre 1001 y 5000 cabezas está integrado por una reducida cantidad de pro-

ductores pero es el que tiene mayor cantidad de cabezas (Riedel y Frasinelli 2013).

En San Luis, para los sistemas ganaderos bovinos, se aplican distintas alternativas de producción dependiendo de la región dentro de la provincia (características ambientales), complejidad de manejo, dedicación y capacidad empresarial. Así, Frasinelli *et al.* (2004) describe distintas alternativas del subsistema cría y Frasinelli *et al.* (2003) describen los subsistemas de cría, recría y engorde o terminación.

### Sistema ganadero y subsistemas

Para este estudio se simuló un sistema ganadero bovino de ciclo completo típico para la zona sur de la provincia de San Luis (Departamentos Pedernera y Dupuy). En el sistema planteado en este trabajo para la estimación de emisiones GEI se ha simulado un proceso que va desde la gestación del animal hasta la venta para la faena, en el cual están involucrado todos los procesos de crecimiento del animal.

Para esta simulación, se asumió que el productor cuenta con todas las condiciones y herramientas tecnológicas para el manejo de la ganadería y para obtener buenos resultados económicos que le permita vivir a él y a su familia.

Se tuvieron en cuenta las tres etapas del proceso de producción: subsistemas de cría, de recría y de terminación o de engorde a corral. En cada subsistema se consideraron todas las categorías de los animales. Este sistema está planteado como sistema ganadero completo, donde el productor elabora y/o produce todo en su propio campo, evitando gastos de traslados de animales y así obtiene en el mismo lugar, la materia prima y el producto final.

Los datos simulados corresponden a un total de 1.352 animales para el total del sistema analizado, de los cuales corresponden a distintas categorías para los tres subsistemas y con una estimación de un total de 6.435 ha para el sistema completo. Para la etapa de cría, se asumió que la alimentación del ganado es en base a pastizales naturales (estimación de 5500 ha de pastizales naturales en la zona sur de San Luis). El sistema obtiene un destete del 70% y una reposición del 20%. Por otra parte, se asumió que se realiza inseminación artificial por lo que se cuenta solamente con 4 toros para repaso y 1 torito para reposición. Para la etapa de recría, se asumió que la alimentación del ganado se basó en pastizales naturales y pasturas introducidas como pasto llorón (*Eragrostis curvula*), digitaria (*Digitaria eriantha*) (estimación de 870 ha de pastizales naturales e introducidas). Para la etapa de terminación (etapa en la cual el animal alcanza el peso y la conformación para la faena) se asumió que la ganadería está en corral y recibe alimento a base de concentrado, silo de planta entera de sorgo y silo de maíz (estimación de 65 ha en la que incluye superficie para la producción del sorgo y maíz). En esta última etapa, también se incorporaron las categorías vaca que cría el último ternero (vaca cut) y las vacas descarte (es decir, aquellas vacas que salen del sistema ya sea por vacas viejas o porque no quedaron preñadas) (tabla N.º 1).

Sistema	Categorías	N.º cabezas	Total cabezas	Alimentación	Otros parámetros
Cría	Vacas no lactando	200	785	Pastizales naturales	70% destete, 20% reposición, inseminación artificial, Proteína Bruta: 6.5 %, Digestibilidad 55%, ganancia de peso vivo: 0.6 kg/día.
	Vacas en lactancia	200			
	Vaquillonas	100			
	Terneros destetados	140			
	Terneros en lactancia	140			
	Torito	1			
	Toros	4			
Recría	Vaquillona	136	272	Pastizales naturales e introducidos	Proteína Bruta 15%, Digestibilidad 65%, Ganancia de peso vivo: 0.6 kg/día
	Novillos	136			
Terminación	Novillos	136	295	Silo planta entera sorgo y grano de maíz	Proteína Bruta: 14%, Digestibilidad 85%, Ganancia: 1.33 kg/día.
	Vaquillonas	58			
	Vacas cut	50			
	Vacas descartes	50			
	Toros	1			

**Tabla 1.** Parámetros empleados para la estimación de GEI de una explotación ganadera bovina típica de la provincia de San Luis.

Para los datos de digestibilidad, proteína bruta y otros parámetros, se tuvo en cuenta la información obtenida por técnicos especialistas y/o bibliografía con datos de la región.

#### Estimación de gases de efecto invernadero

En este estudio se realizó la estimación y análisis de las emisiones de gases CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O producidas por el ganado bovino en todo el sistema, luego a nivel subsistema y, finalmente, un análisis por animal en cada categoría.

Para estimar las emisiones de GEI del ganado bovino se utilizó el nivel 2 de la metodología recomendada por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2006).

Se estimaron emisiones de metano por fermentación entérica (CH<sub>4</sub> FE) y por gestión de estiércol (CH<sub>4</sub> GE); emisiones directas de óxido nitroso por gestión de estiércol (N<sub>2</sub>O GE) y por suelos gestionados (N<sub>2</sub>O SG) y emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por volatilización de GE y SG.

Los resultados obtenidos fueron convertidos a CO<sub>2</sub> equivalente (eq-CO<sub>2</sub>). eq-CO<sub>2</sub> es la concentración de CO<sub>2</sub> que daría lugar al mismo nivel de forzamiento radiactivo que la mezcla dada de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (IPCC 1997). Esto permite comparar distintas emisiones de GEI en base a su potencial de calentamiento global.

En esta instancia se estimaron las emisiones producidas por el ganado bovino únicamente, no así los gases producidos por la agricultura generada por el productor para la elaboración y/o compra de la alimentación para el ganado.

#### Emisión de metano

Para la estimación de la emisión de CH<sub>4</sub> de la explotación ganadera bovina se calculó el CH<sub>4</sub> FE y CH<sub>4</sub> GE para cada uno de las categorías de los subsistemas.

Para la estimación de la emisión de CH<sub>4</sub> FE se debió calcular los siguientes parámetros: factor de emisión (FE), energía bruta para vacunos (EB). Para poder calcular la EB se utilizó el sistema nutricional NRC (1996), para lo cual se debió calcular la energía neta para mantenimiento (NEm), para actividad (NEa), para crecimiento (NEg), para lactancia (NEl), para preñez (NEp); relación entre la energía disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida (REM), relación entre la energía disponible en una dieta para crecimiento y la energía digerible consumida (REG). Se estimó la ingesta de materia seca (DMI).

Además, se calculó el factor de conversión en metano (Ym) expresado como fracción de energía bruta (EB) del alimento que se transforma en CH<sub>4</sub>, teniendo en cuenta la ecuación utilizada por Cambra-López, *et al.* (2008).

$$Ym = + 0,3501 * DE - 0,8111$$

Donde: "DE" es digestibilidad de energía (% EB)

Para las emisiones de CH<sub>4</sub> GE se calculó el FE, y las tasas de excreción de sólidos volátiles (VS) para cada una de las categorías de los subsistemas.

#### Emisión de óxido nitroso

Se estimaron las emisiones de N<sub>2</sub>O derivadas de la producción bovina tanto directas por gestión de estiércol (ED

$N_2O$  GE) y suelos gestionados (ED  $N_2O$  SG), como emisiones indirectas por volatilización (EI  $N_2O$  V). Para dichas estimaciones también se calcularon otros parámetros como la tasas de excreción anual de nitrógeno (Nex), tasas de ingesta de nitrógeno (Ningesta), tasas de nitrógeno retenido (Nretención), N de la orina y el estiércol depositado por animal de pastoreo en pasturas,  $N_2O$  producido por deposición atmosférica en N volatilizado de suelo gestionado (SG).

Para el subsistema de cría y recría las emisiones de  $N_2O$  se calcularon a través de ecuaciones relacionadas a los SG, mientras que para el subsistema de terminación se utilizaron las ecuaciones relacionadas a la GE. Cabe aclarar que, si bien se asume que el productor realiza agricultura para la elaboración de silos para su propia ganadería, para las emisiones de ED  $N_2O$  SG no se ha considerado la cantidad anual de N aplicado al suelo en forma de fertilizante, ni los residuos agrícolas que regresan al suelo.

### Análisis estadístico

Los datos se analizaron por regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) (Abdi, 2003). Se trata de un método estadístico multivariado que generaliza y combina el análisis de componentes principales (ACP) y la regresión lineal. Es útil cuando se quiere analizar el comportamiento de un grupo de variables dependientes o de respuesta (Y) desde un conjunto de variables predictoras (que pueden estar correlacionadas), y cuando el conjunto de datos es relativamente reducido como en el presente trabajo. Además, se describió un triplot utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

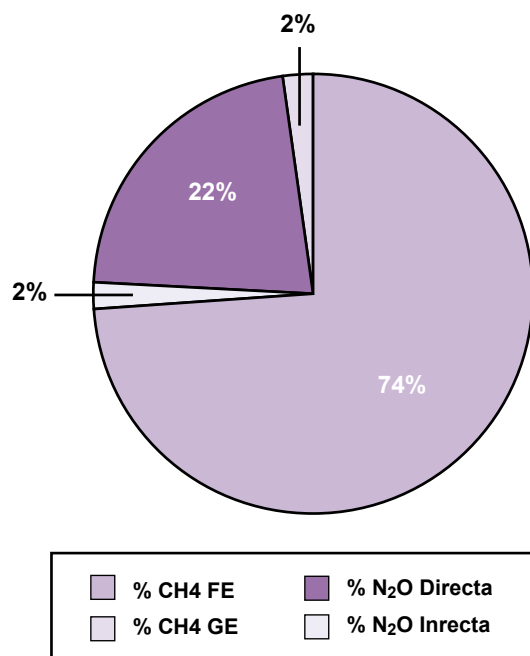
En este caso se relacionaron tres conjuntos de variables. Las variables indicadoras (variables respuestas) que fueron  $CH_4$  GE,  $CH_4$  FE, ED de  $N_2O$  y EI  $N_2O$  de N vol de emanación de eq- $CO_2$  debido a la actividad ganadera; otro conjunto (variables predictoras) formado por Ym, EB, peso, DMI y DE % que relacionan el tipo de animal con la ingesta de materia seca; y el tercer conjunto de variables (clasificación) agrupadas de acuerdo a los tres subsistemas del sistema ganadero planteado cría, recría y terminación. La interpretación del gráfico que surge a partir de la regresión de mínimos cuadrados parciales se realiza de acuerdo a las posiciones relativas de los puntos correspondientes a las variables predictoras de clasificación y las variables de respuesta (Balzarini *et al.*, 2005; Kempton, 1984).

## RESULTADOS

### Emisiones de GEI en un sistema ganadero de ciclo completo

Las estimaciones totales de  $CH_4$  y  $N_2O$  del sistema ganadero bovino de ciclo completo simulado fueron de 2.027.874 kg/año de  $CO_2$  equivalente (eq- $CO_2$ ), correspondiente a un total de 1.352 animales que posee una empresa distribuidos en distintos subsistemas y categorías de animales y en un establecimiento estimado de 6.435 ha. Estas estimaciones significan un promedio de 1.500 kg de eq- $CO_2$  por animal al año, es decir 4,10 kg de eq- $CO_2$

por animal por día. Del total de las emisiones estimadas, el 76% corresponden a las emisiones de  $CH_4$  y el 24% a las emisiones de  $N_2O$  (figura 1). Dentro de las emisiones de metano, la mayor parte son producidas por FE ( $CH_4$  FE: 74%) y sólo el 2% por GE ( $CH_4$  GE). Por su parte, las emisiones de  $N_2O$  son en gran medida de manera directa (GE y SG), y no por volatilización (figura 1).



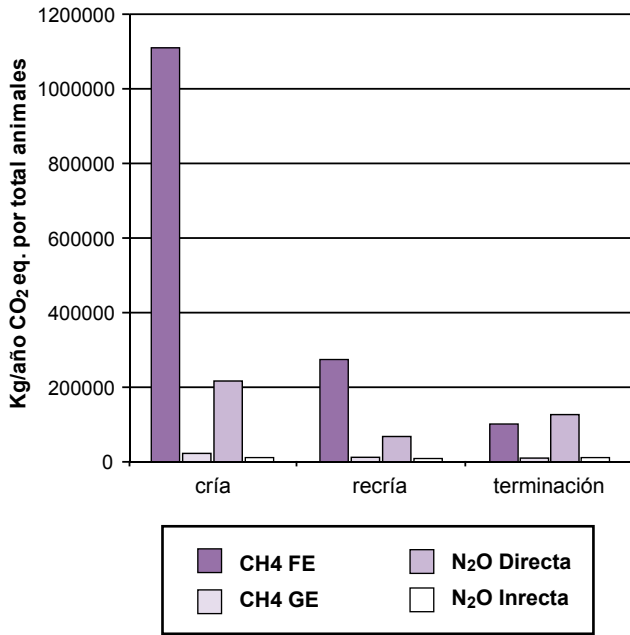
**Figura 1.** Emisiones de  $CH_4$  y  $N_2O$  de un sistema de ciclo completo de una explotación típica de ganadería bovina en la provincia de San Luis (Kg/año eq- $CO_2$ ). Referencias: % $CH_4$  FE: Porcentaje de emisiones de metano por fermentación entérica, % $CH_4$  GE: Porcentaje de emisiones de metano por gestión de estiércol, % $N_2O$  directo: porcentaje de emisiones directa de óxido nítrico, % $N_2O$  indirecto: porcentaje de emisiones indirecta de óxido nítrico.

Comparando los distintos subsistemas en un sistema completo, las emisiones de  $CH_4$  FE es mayor en el subsistema cría. En las etapas de cría y recría, la mayor emisión de GEI corresponde a  $CH_4$ , mientras que en la etapa de terminación es mayor la emisión de  $N_2O$  (figura 2).

Dentro del subsistema cría, las vacas, principalmente las que se encuentran en lactancia, representan la categoría de animales que emiten la mayor cantidad de  $CH_4$  FE (figura 3). En la etapa de recría, la categoría novillos produce mayores emisiones de  $CH_4$  FE, por sobre la otra categoría del subsistema, las vaquillonas. En la etapa de terminación se produce mayor emisión de  $N_2O$  directa en todas las categorías, aunque la categoría novillos emite la mayor proporción.

### Emisiones anuales de GEI

El rango anual de emisiones estimado en este estudio varió entre 15 y 112 kg/año de  $CH_4$  FE; entre 0,50 y 2,38 kg/año de  $CH_4$  GE; entre 0,50 y 2 kg/año de  $N_2O$  directa y entre 0,05 y 0,30 kg/año de  $N_2O$  indirecta (tabla 2).



**Figura 2.** Emisiones de GEI por subsistemas de una explotación típica bovina en la provincia de San Luis (Kg/año eq-CO<sub>2</sub>). Referencias: CH4 FE: emisiones de metano por fermentación entérica; CH4 GE: Emisiones de metano por gestión de estiércol; N2O directo: emisiones directas de óxido nitroso y N2O indirecto: emisiones indirectas de óxido nitroso indirecto.

**Emisiones por animal y subsistema**

En la etapa de cría, la categoría vaca en lactancia fue la que emitió mayor cantidad de emisiones de CH<sub>4</sub> (2.407 kg/año eq-CO<sub>2</sub> por animal, incluidas FE y GE) y de N<sub>2</sub>O (489 kg/año eq-CO<sub>2</sub> por animal), seguida de la categoría toros (2.306 kg/año de eq-CO<sub>2</sub> por animal) y de N<sub>2</sub>O (433 kg/día de eq-CO<sub>2</sub> por animal) (figura 4a).

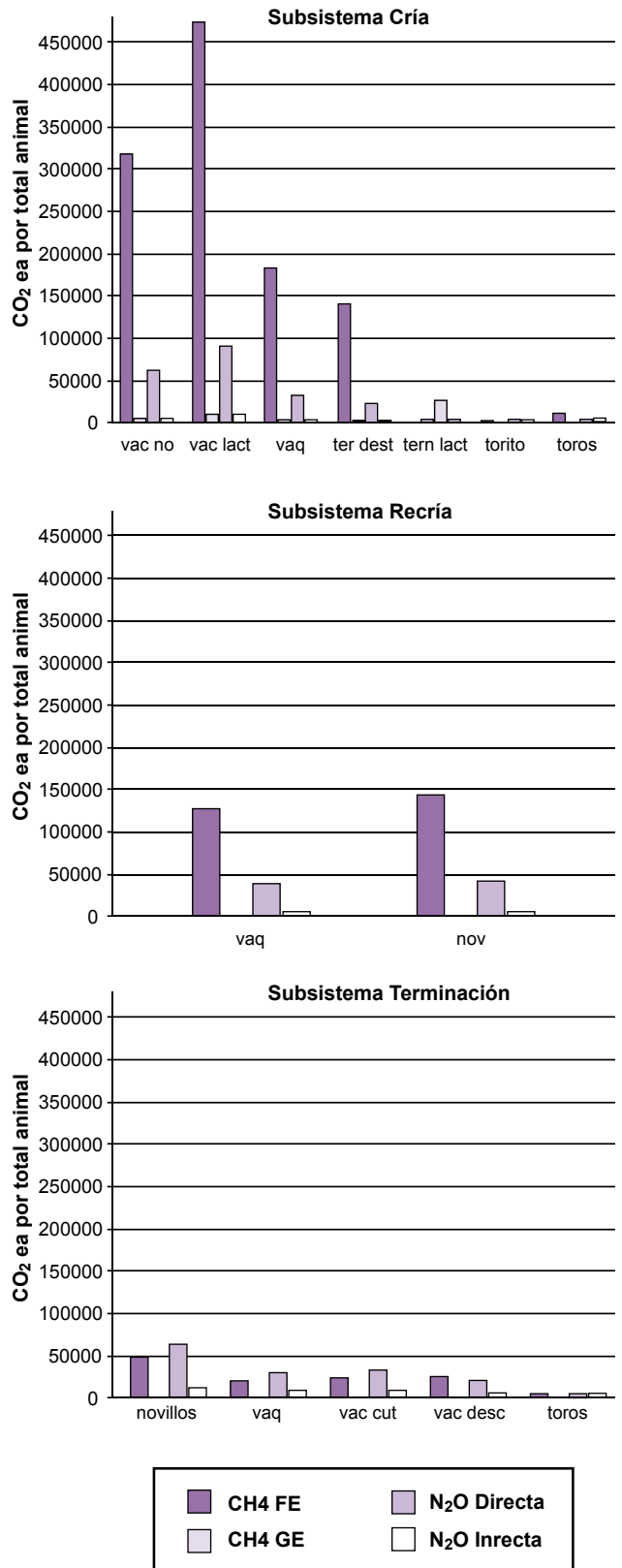
En la etapa de recría, la categoría novillos fue la que emitió mayor cantidad de CH<sub>4</sub> (1.099 kg/año de eq-CO<sub>2</sub> por animal) y de NO<sub>2</sub> (324 kg/año de eq-CO<sub>2</sub> por animal) (figura 4b).

En la etapa de terminación, a diferencia de las etapas anteriores, emite mayor cantidad de N<sub>2</sub>O que de CH<sub>4</sub> en todas las categorías, destacándose la categoría vaca cut con 728 kg/año de eq-CO<sub>2</sub> por animal, seguidas de las categorías toros y vaquillonas con 548 y 534 kg/año de eq-CO<sub>2</sub> por animal respectivamente (figura 4c).

Los dos primeros componentes principales del análisis PLS explican gran parte (96%) de la asociación encontrada entre las concentraciones de CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O (figura 5) con las variables indicadoras y los subsistemas ganaderos evaluados.

Se observa que las ED de N<sub>2</sub>O eq-CO<sub>2</sub> se asoció a DE%, a DMI (kg/d/a) y a Peso. Por otro lado, las ED y EI de N<sub>2</sub>O eq-CO<sub>2</sub> no se correlacionan con el Ym, es decir, el factor de conversión en metano. También se observa que está muy poco asociado a EB (Mj/día).

Tanto CH<sub>4</sub> FE eq-CO<sub>2</sub> /a como CH<sub>4</sub> GE eq-CO<sub>2</sub> /a se asoció con Ym y EB (Mj/d). Además, se observó que se



**Figura 3.** Emisiones de GEI por categoría y subsistemas de una explotación típica bovina en la provincia de San Luis (Kg/año de eq-CO<sub>2</sub>). Referencias: Vacas no lactando (vac no lact), vacas en lactancia (vac lact), vaquillonas (vaq), terneros destetados (tern dest), terneros en lactancia (tern lact) toros, novillos (nov), vacas cut (vac cut), vacas de descarte (vac desc).

	Metano por F E	Metano por G E	Emisiones directas de N <sub>2</sub> O	Emisiones Indirecta N <sub>2</sub> O
<b>Cría</b>				
vacas no lactando	75	1,6	0,98	0,1
vacas en lactancia	112	2,38	1,43	0,14
vaquillonas	87	1,84	0,99	0,1
terneros destetados	47	1,01	0,5	0,05
terneros en lactancia	0	1,15	0,58	0,06
torito	90	1,9	0,9	0,09
toros	108	2,27	1,27	0,13
<b>Recría</b>				
Vaquillona	46	0,92	0,91	0,09
Novillos	51	1,02	0,95	0,09
<b>Terminación</b>				
novillos	17	0,58	1,39	0,21
vaquillonas	16	0,55	1,5	0,23
vacas cut	20	0,67	2,04	0,31
vacas descartes	15	0,51	0,92	0,14
toros	19	0,67	1,54	0,23

**Tabla 2.** Estimación de emisiones anuales de GEI en una explotación típica de la provincia de San Luis (kg/año/animal)

asoció negativamente con DE%. Por otra parte, no se encontró relación entre CH<sub>4</sub> con Peso y DMI (kg/d/a).

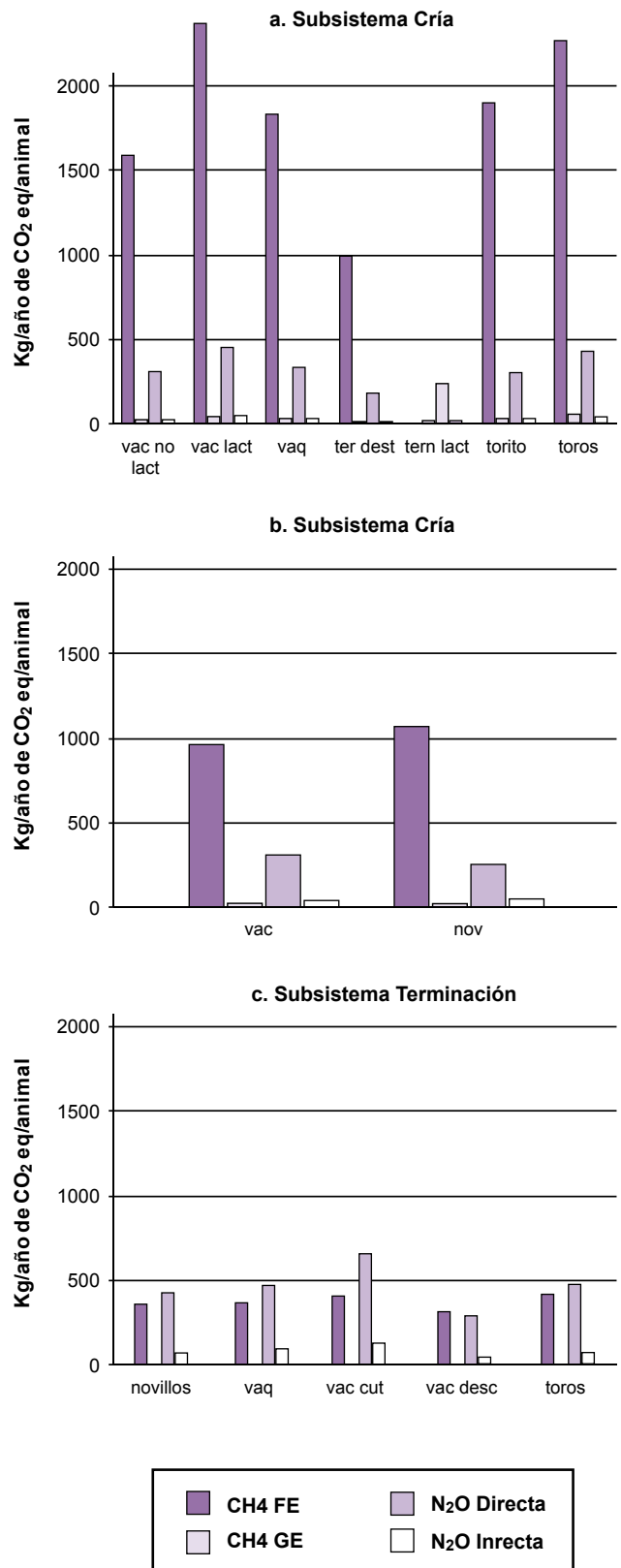
El CH<sub>4</sub> es la variable respuesta que se observó más asociada con la variable de clasificación (subsistemas ganaderos), observándose mayor relación con la cría. En cambio las ED de N<sub>2</sub>O eq-CO<sub>2</sub> y emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O d N vol eq-CO<sub>2</sub> no se asociaron al tipo de subsistema.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

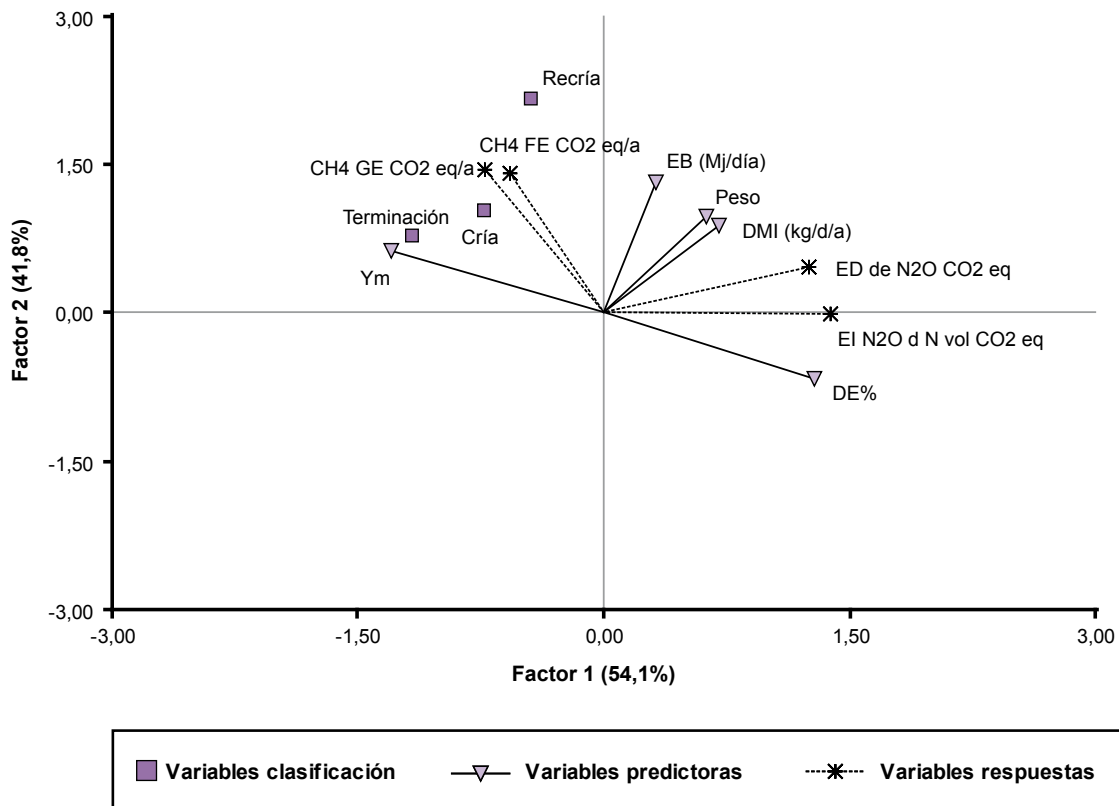
Este estudio se realizó simulando una explotación ganadera bovina típica de la provincia de San Luis, comparando distintas etapas de producción y en la que incluyen todas las categorías de los animales. Sus emisiones fueron muy variables en sus distintas etapas.

El rango anual de emisiones de metano estimados en este estudio tuvo variaciones similares a los informados en estudios realizados comparando distintas dietas y utilizando para su medición la metodología de SF<sub>6</sub> por DeRamus *et al.* (2003). Por otra parte, estudios realizados por Lockyer (1997) sobre emisiones de metano en terneros obtuvo datos promedios de 74,5 g/día por animal (es decir, 27,2kg/año/animal) mientras que en nuestro trabajo el ternero obtuvo valores de 47kg/año/animal.

Las estimaciones de emisiones por animal en este estudio fueron un 23% superior a las informadas por Gobierno



**Figura 4.** Emisiones de GEI por animal, categoría y subsistemas de una explotación típica bovina en la provincia de San Luis (kg/año de eq-CO<sub>2</sub>). Referencias: vac no lact: vacas no lactando; vac lact: vacas en lactancia; vaq: vaquillonas; tern dest: terneros destetados; tern lact: terneros en lactancia; nov: novillos; vac cut: vacas cut; vac desc: vacas de descarte.



**Figura 5.** Análisis de PLS sobre GEI de una explotación típica bovina en la provincia de San Luis. CH4 GE eq-CO<sub>2</sub>/a: Metano por gestión de estiércol; CH4 FE eq-CO<sub>2</sub>/a: Metano por fermentación entérica; EB Mj/día: energía bruta; DMI (kg/d/a): ingesta de materia seca; ED de N<sub>2</sub>O eq-CO<sub>2</sub>: emisiones directas de óxido nitroso; EI N<sub>2</sub>O d N vol eq-CO<sub>2</sub>: emisiones indirectas de óxido nitroso por nitrógeno volatilizado; DE%: digestibilidad del alimento; Ym: factor de conversión de metano.

Argentino (2007) a nivel país para el año 2000 (1.214 kg/año de eq-CO<sub>2</sub> por animal). Esta diferencia puede deberse, por un lado, a diferencias metodológicas, ya que utilizaron el nivel 1 mientras que en este estudio se aplicó nivel 2 del IPCC que considera un mayor número de parámetros respecto a la ganadería. Por otra parte, estas diferencias pueden deberse a que el sistema planteado en este trabajo simulado para San Luis no es representativo de lo que se aplica a nivel nacional.

Si bien la mayor emisión de gases se han producido en la etapa de cría, en donde los animales se encuentran en campos de recursos naturales, este trabajo no ha analizado el sumidero que significa la vegetación (vegetación natural con árboles, arbustos y herbáceas), que termina amortiguando o disminuyendo las emisiones que produce el ganado bovino. Este fenómeno es diferente en la etapa de terminación, en la que los animales se encuentran en corrales y/o espacios muy reducidos sin vegetación nativa. A la vez, es importante tener presente la calidad del suelo, porque de ello depende la producción de la vegetación y el impacto medioambiental potencial. Esta calidad depende de la intensidad del manejo del pastoreo, es decir, a mayor intensidad de pastoreo, el impacto sobre la calidad del suelo y la producción de la vegetación es negativo (Cuttle,

2008). Por ello es muy importante tener presente distintas tecnologías a aplicar, como por ejemplo, ajustar la carga animal de acuerdo a las características ambientales que posea el campo y realizar descansos en el momento adecuado. Cabe destacar que se identifican diversas opciones para la disminución de GEI a aplicar en sistemas intensivos, pero en menor medida para sistemas extensivos (Eckard *et al.*, 2010), aunque ellas necesiten de una mayor investigación para poder ser aplicados a campos reales de producción.

En la etapa de terminación los valores promedios de emisiones de CH<sub>4</sub> FE y GE fueron de 365 eq-CO<sub>2</sub>/animal, lo cual lo ubica muy por debajo de los obtenidos por Ogino *et al.* (2004). Estos autores estudiaron sistemas de engorde y utilizaron como metodología la evaluación de ciclo de vida (LCA), que las emisiones de metano por fermentación entérica y del estiércol del ganado fueron las de mayor impacto en el calentamiento global (2.851 kg de eq-CO<sub>2</sub>/año). Cabe aclarar, que dio como resultado que la metodología LCA incluye todas las emisiones, mientras que en nuestro trabajo no se estimaron las producidas por la elaboración del alimento para el ganado.

Es importante tener presente la persistencia de los gases en la atmósfera. Por ejemplo, el metano persiste entre 7 y 10



años, mientras que el óxido nitroso entre 140 y 190 años (Nazareno, 2009). Estas diferencias tienen claras implicancias sobre el efecto de estas emisiones al mediano-largo plazo.

Con el análisis PLS se observa una estrecha relación del consumo del animal con el peso, como así también las variables respuestas (metano y óxido nitroso). La ED N<sub>2</sub>O está determinada con el consumo del alimento (DMI) que depende del tipo de animal (peso) y a su vez de la calidad de la dieta y su digestibilidad a través de la energía bruta (EB). De acuerdo a lo que consume el animal, será la cantidad de heces y orina que elimina y por lo tanto las emisiones que emita. Por otra parte, es esperable que el Ym no se asocie con el óxido nitroso debido a que corresponde al metabolismo ruminal y el óxido nitroso mayoritariamente se genera en los desechos (heces y orina). Las emisiones de metano tanto por gestión de estiércol como por fermentación entérica se comportan iguales porque los gases se generan en función a factores inherentes al sistema productivo (variables de clasificación). Además, Ym tiene una correlativa negativa con DE% ya que a mayor digestibilidad del alimento menor proporción de emisión de metano.

Las emisiones de metano producidas por el ganado podrían reducirse o mitigarse aplicando estrategias basadas en la eficiencia del uso de la energía del alimento (DeRamus *et al.*, 2003); con la manipulación de la dieta de los rumiantes se reduce no sólo la emisión de metano sino la pérdida de energía en el animal (Berra y Valtorta, 2009). Además, Lovett *et al.* (2003) sostienen que las dietas con una relación baja de forraje/concentrado es un medio eficaz para reducir la emisión de CH<sub>4</sub> por unidad de producto mientras que simultáneamente mejora la productividad animal. El metano representa también una pérdida de energía en el animal, es decir, la energía alimenticia se transforma en forma de gas metano y no es aprovechada por el animal. Esas pérdidas, según Johnson y Johnson (1995), pueden ir entre 0,02 y 0,12 de la ingesta de EB. Por otra parte, Clemens y Ahlgrimm (2001) afirman que los animales con alta productividad alimentados con dieta óptima parece ser la mejor medida preventiva de reducir la emisión de GEI.

Todos estos trabajos indican que estrategias basadas en una alimentación animal adecuada parecen ser las más efectivas para reducir las emisiones de GEI en los sistemas ganaderos bovinos. Como puede observarse, en las estimaciones realizada para la zona sur de San Luis, las emisiones de CH<sub>4</sub> FE fueron mayores en el subsistema cría (figura 2). Así, en la cría tiene un promedio de emisiones de CH<sub>4</sub> FE de 1.427 eq-CO<sub>2</sub>/animal, en la recría 1.021 eq-CO<sub>2</sub>/animal y en la etapa de terminación un promedio de 353 eq-CO<sub>2</sub>/animal. Esto puede atribuirse, por un lado, a que el número de animales y categorías en cada subsistema son diferentes (tabla 1) y, por otro, a que la alimentación para los animales en el subsistema cría es de menor calidad forrajera que para los de recría y terminación. Por otra parte, se debe tener en cuenta que para esta estimación no se han incluido las emisiones producidas para la elaboración de alimentos para la etapa de recría y terminación y, por otra parte, a la eficiencia general del subsistema.

Es importante entonces, buscar la mejor manera de hacer más eficiente la producción -por subsistema-. Esto dirige al doble beneficio, por un lado mejores resultados económicos y por otro menos GEI. Para ello, y principalmente en la etapa de cría, optimizaría en gran medida esta variable ambiental una mejora en indicadores productivos, entre otros, el porcentaje de destete que en San Luis en la última década presentó variables inferiores al 65%.

Las emisiones estimadas en este trabajo realizado para la ganadería bovina del sur de San Luis mostraron considerable variación debido a las diferentes categorías de animales, diferente alimentación y diferentes etapas/subsistemas. Asimismo, es evidente la relación entre eficiencia productiva y emisiones. Es así que el impulso de las tecnologías dirigidas a optimizar los índices productivos contribuyen, en este caso en simultáneo, a optimizar el efecto ambiental de las producciones. A esto cabe agregar, que un alto efecto en la eficiencia muchas veces es logrado con medidas sencillas y de bajo costo.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por el soporte económico del trabajo. A Karina Frigerio por el aporte relacionado al análisis estadístico. A Adriana Bengolea por sus aportes realizados y a dos revisores anónimos por sus valiosos aportes que sin dudas mejoraron significativamente este trabajo.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ABDI, H. 2003. Partial Least Squares (PLS) Regression. En: Lewis-Beck M., Bryman, A., Futing T. (Eds.) Encyclopedia of Social Sciences Research Methods. Thousand Oaks (CA): Sage.
- AGUILERA, M. 2003. Uso ganadero de los pastizales naturales de San Luis. En: Aguilera, M.; Panigatti, J. Con las metas claras. La Estación Agropecuaria San Luis. 40 años en favor del desarrollo sustentable. Ed. INTA.
- BALZARINI, M, BRUNO, C; ARROYO, A. (2005). Ensayos agrícolas multi-ambientales con InfoGen. Estadística y Biometría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.
- BERRA, G.; VALTORTA, S. 2009. Determinación de Metano entérico. En: El cambio Climático en Argentina, 2009. Nazareno C. M. Editor. Jefatura de Gabinete de Ministros, Presidencia de la Nación. Cambio Climático, Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).
- CAMBRA-LÓPEZ, M., GARCÍA REBOLLAR, P., ESTELLÉS, F.; TORRES, A. 2008. Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: El Factor de Conversión de Metano. En: Archivos de Zootecnia 57 (R): 89-101.
- CLEMENS, J.; AHLGRIMM, H. 2001. Greenhouse gases from animal husbandry: Mitigation options. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 60: 287-300
- CUTTLE, S.P. 2008. Chapter 2. Impacts of pastoral grazing on soil quality. pp. 33-74 En: Environmental Impacts of pasture-based farming. McDowell, R.W (ed.)
- DERAMUS, H.A.; CLEMENT, T.C.; GIAMPOLA, D.D.; DICKSON, P.C. 2003. Methane emissions of beef cattle on forages:

Efficiency of grazing management systems. *J. Environ. Qual.* 32:269–277.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L. TABLADA, M. ROBLEDO, C.W. (2008). *InfoStat*, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

ECKARD, R.J.; GRAINGER, C.; DE KLEIN, C.A.M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: review. *Livestock Science*, 130 (1-3), pp. 47-56. FAO 2009a. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. La ganadería, a examen.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. ISSN 0251-1371

FAO, 2009a. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. La ganadería a examen.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2009.

FAO, 2009b. *Cómo alimentar al mundo en 2050. Foro de expertos de alto nivel.* Roma. Octubre 2009. <http://www.fao.org/news/story/es/item/35571/icode/> (Verificado el: 26 de septiembre de 2012)

FINSTER, L.; BERRA, G. 2009. Emisiones de GEIs en el sector ganadero – Medidas de mitigación. En: *El cambio Climático en Argentina, 2009.* Nazareno C. M. Editor. Jefatura de Gabinete de Ministros, Presidencia de la Nación. Cambio Climático, Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

FRASINELLI, C.A.; VENECIANO, J.H.; BELGRANO RAWSON, A.; FRIGERIO, K. 2003. Sistemas extensivos de producción bovina: productividad y rentabilidad. En: Aguilera, M.; Panigatti, J. *Con las metas claras. La Estación Agropecuaria San Luis. 40 años en favor del desarrollo sustentable.* Ed. INTA.

FRASINELLI, C.A.; VENECIANO, J.H. y DIAZ, J. 2004. *Sistemas de cría bovina en San Luis. Estructura, manejo e indicadores económicos.* EEA San Luis. 88p. (Información técnica N° 166)

GOBIERNO ARGENTINO, 2007. *Inventario Nacional de la República Argentina, de fuentes de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero, no controlados por el protocolo de Montreal. Inventario correspondiente al año 2000 y revisión de los inventarios 1990, 1994 y 1997.*

IPCC, 1996. *Revised 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual.*

IPCC, 1997. *Estabilización de los gases atmosféricos de efecto invernadero: implicaciones físicas, biológicas y socioeconómicas. Documento técnico III del IPCC.* Editados por: Houghton, J.; Gylvan Meira Filho, L.; Griggs, D.; y Maskell, K.

IPCC, 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds).* Publicado por: IGES, Japón.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73: 2483-2492

KEMPTON, R. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Science* 103: 123-135.

LOCKYER, D.R. 1997. Methane emissions from grazing sheep and calves. *Agric. Ecosyst. Environ.* 66:11-18.

LOVETT, D.; LOVELL, S; STACK, L.; CALLAN, J.; FINLAY, M.; CONOLLY, J.; O'MARA, F. 2003. Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef heifers. *Livest. Prod. Sci.* 84: 135-146

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle, 7<sup>th</sup> Revised Ed., Nat. Acad. Press, Washington, DC.*

NAZARENO, C.M. 2009. *El cambio Climático en Argentina. Jefatura de Gabinete de Ministros, Presidencia de la Nación. Cambio Climático, Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).*

OGINO, A.; KAKU, K.; OSADA, T.; SHIMADA, K. 2004. Environmental impacts of the Japanese beef-fattening system with different feeding lengths as evaluated by a life-cycle assessment method. *J. Anim. Sci.* 82: 2115-2122.

PONTI, D. 2011. *Canales de comercialización de carne vacuna en mercado interno. Dirección de Análisis Económico Pecuario. Dirección Nacional de Transformación y Comercialización de Productos Pecuarios. Subsecretaría de Ganadería. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.*

RIEDEL, J.L.; FRASINELLI, C. 2013. Los sistemas de producción bovina de la provincia de San Luis, Argentina. Oportunidades y desafíos. En: *3<sup>er</sup> Simposio Internacional sobre producción animal. Utilización de forrajes en la nutrición de rumiantes. Temascaltepec de Gonzáles. México. 6, 7 y 8 de mayo de 2013.*

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. (2006). *Livestock's Long Shadow. Environmental Issues and Options. LEAD-FAO, Rome 2006.*