

**INTENSIDAD DE EMISIONES DE METANO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE
CARNE CON DESTETE HIPERPRECOZ**

Mauro Loto

Trabajo de tesis para ser presentado como requisito parcial para optar al título de

***MAGISTER SCIENTIAE* en PRODUCCIÓN ANIMAL**

Área Nutrición Animal

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA

Balcarce, Argentina

Junio 2019

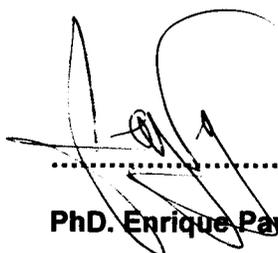
**INTENSIDAD DE EMISIONES DE METANO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE
CARNE CON DESTETE HIPERPRECOZ**

Mauro Loto



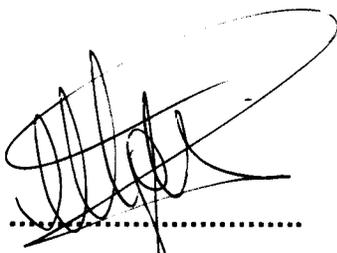
.....
PhD. Patricia Ricci

Director de tesis



.....
PhD. Enrique Paván

Co- Director de tesis



.....
MSc. Maglietti Carlos

Asesor

**INTENSIDAD DE EMISIONES DE METANO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE
CARNE CON DESTETE HIPERPRECOZ**

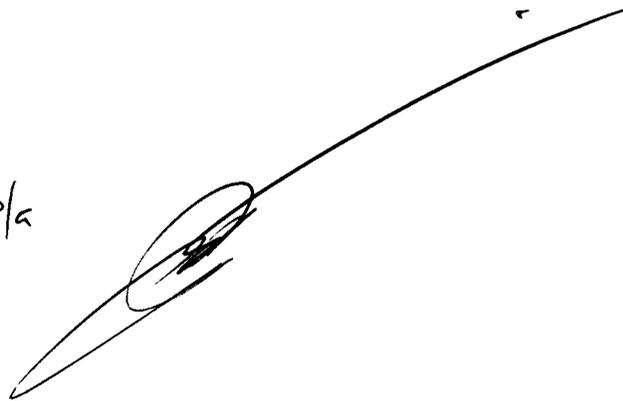
Mauro Loto

Aprobada por:

.....

Dr. José Ignacio Arroquy

P/a

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of a long horizontal stroke with a loop and a vertical stroke, positioned over the signature line.

.....

MSc. Olegario Hernández

.....

PhD. Verónica Ciganda

Agradecimientos

A Patricia Ricci y el grupo de Nutrición Animal de la EEA Balcarce por haberme dado la posibilidad de realizar este trabajo y por su paciencia en la corrección del presente.

A Paula Juliarena y Sergio Guzmán del Instituto de Física Arroyo Seco, UNCPBA

Al jurado evaluador

A los compañeros de posgrado del ciclo 2015 de la Unidad Integrada Balcarce.

INDICE

INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	XI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, el rol de la producción bovina	5
2.2 Metanogénesis ruminal.....	7
2.3 Estrategias de mitigación de metano	9
2.3.1 Manejo de la alimentación	9
2.3.2 Manejo del rodeo.....	11
2.4 Métodos de determinación de metano.....	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Sitio Experimental.....	15
3.2 Animales y Tratamientos	15
3.3 Manejo de terneros de destete hiperprecoz.....	15
3.4 Pasturas utilizadas y manejo del pastoreo.....	16
3.5 Engorde a corral.....	17
3.6 Alimentos.....	17
3.7 Mediciones sobre los animales.....	18
3.7.1 Vacas	18
3.7.2 Terneros.....	18
3.8 Consumo de materia seca (CMS).....	19
3.8.1 Determinación de consumo de materia seca en pastoreo y a corral.....	19
3.8.2 Estimación de requerimientos energéticos	21
3.9 Medición de la producción de metano entérico.....	26
3.10 Estimación de la producción de metano entérico a nivel de sistema.....	28
3.11 Diseño experimental y análisis estadístico.....	30
4 RESULTADOS.....	32
4.1 Composición química de la oferta forrajera.....	32

4.2	Evolución del peso vivo de las vacas e intervalo entre partos.....	32
4.3	Evolución del peso vivo de los terneros y novillos	33
4.4	Espesor de grasa dorsal, área ojo de bife y rendimiento de res.....	35
4.5	Consumo de materia seca y emisión de metano entérico estimado.....	36
4.5.1	Vacas	36
4.5.2	Terneros.....	36
4.6	Emisión de metano entérico medido de novillos durante la recría pastoril y engorde a corral.....	38
4.7	Relación entre medición y estimación de metano entérico	40
4.8	Eficiencia de conversión alimenticia y eficiencia de uso de la energía.....	40
4.9	Emisiones de metano entérico totales del sistema	41
4.10	Intensidad de emisiones de metano del sistema de producción	42
5	DISCUSIÓN.....	43
5.1	Alimentación y respuesta animal durante la cría, recría y engorde	43
5.2	Efecto del destete anticipado en el consumo y las emisiones de metano entérico de vacas y terneros.....	48
5.3	Intensidad de emisiones de metano a nivel de sistema	54
6	CONCLUSIONES.....	57
7	BIBLIOGRAFÍA.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de digestibilidad de materia seca utilizados en las estimaciones.	17
Tabla 2. Composición química de los alimentos ofrecidos durante la recría pastoril y engorde a corral.....	32
Tabla 3. Media \pm desvío estándar de espesor de grasa dorsal (EGD), área ojo de bife (AOB), tasa de incremento de AOB y EGD, % de rendimiento de res de novillos de destete hiperprecoz (DHP) y destete tradicional (DT).	35
Tabla 4. Medias de peso vivo (PV), consumo de materia seca (CMS) y producción de metano entérico (CH ₄) durante el período Octubre 2014 – Septiembre 2015, de vacas multíparas con destete hiperprecoz (DHP) y destete tradicional (DT).	36
Tabla 5. Medias de peso vivo (PV), consumo de materia seca (CMS) y emisión de metano entérico (CH ₄), de terneros de destete tradicional (DT) y destete hiperprecoz (DHP) desde los 53 hasta los 205 días de vida.	37
Tabla 6. Efecto del tipo de destete y el período de alimentación sobre el peso vivo (PV), consumo de materia seca (CMS) y producción de metano entérico (CH ₄) de novillos.	39
Tabla 7. Total de kg de peso vivo (PV) ganados durante la recría y engorde, consumo total de materia seca (MS), consumo total de energía metabolizable (EM; Mcal), eficiencia de conversión alimenticia y eficiencia energética de novillos de destete hiperprecoz (DHP) y tradicional (DT).	41
Tabla 8. Intensidad de emisiones de metano entérico a nivel de cría, invernada y ciclo completo en un rodeo simulado con destete hiperprecoz (DHP) y tradicional (DT).	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metabolismo de carbohidratos en el rumen.....	8
Figura 2. Promedio y error estándar del peso vivo mensual de las vacas destetadas anticipadamente (DHP; n=16) y destetadas tradicionalmente (DT; n=16).....	33
Figura 3. Promedio y error estándar del peso vivo de terneros de destete hiperprecoz (DHP; n=16) y destete tradicional (DT; n=16) desde el nacimiento (día 0) hasta la faena (día 578).....	34
Figura 4. Aumento diario de peso vivo (ADPV) en terneros de destete hiperprecoz (DHP) y destete tradicional (DT) desde el nacimiento (día 0) hasta la faena (día 578).....	35
Figura 5. Consumo de materia seca (CMS) individual de novillos de recría (n=32 promedio de ambos tratamientos) medido y estimado durante los períodos de medición de CMS en la primavera, verano y engorde a corral.....	38
Figura 6. Emisión diaria de metano entérico (CH ₄) medido y estimado de novillos durante la primavera, verano y engorde a corral.....	40
Figura 7. Participación porcentual de cada categoría animal de un rodeo de producción de carne de ciclo completo en el total de emisiones de metano entérico durante un ciclo productivo de un rodeo con destete hiperprecoz (DHP) y tradicional (DT).....	41

RESUMEN

La producción de metano entérico (CH_4) representa una pérdida de eficiencia de utilización de la energía de sistemas de producción bovina y además constituye el principal gas de efecto invernadero (GEI) generado por la actividad pecuaria. Los objetivos de este trabajo fueron (a) evaluar el impacto del adelantamiento del destete en indicadores de eficiencia a nivel de sistema de producción de ciclo completo, y (b) brindar información local mediante mediciones *in situ* de emisiones de CH_4 durante las etapas de recría y engorde de novillos. Para ello se seleccionaron 32 vacas a 2 tratamientos, destete hiperprecoz (DHP) y destete tradicional (DT). El DHP y DT se realizaron a los 53 ± 6 y 205 ± 12 d de edad del ternero, respectivamente. Los terneros de DHP tuvieron una crianza artificial de 30 d y luego fueron alimentados a corral con una dieta de 2,7 Mcal/kg MS y 17% PB durante 125 d. Posteriormente los terneros de ambos tratamientos se pusieron en igualdad de condiciones y comenzaron la recría pastoril sobre pasturas de *Festuca arundinacea*, *Medicago sativa* y *Trifolium repens*. Luego de la recría, los mismos novillos se alimentaron a corral 364 kg PV con una dieta a base de grano de maíz (68% base MS). Se realizaron mediciones de consumo de materia seca (CMS) y CH_4 , de novillos de recría pastoril durante la primavera, verano y posteriormente durante el período de engorde a corral. Durante todo el ciclo productivo se evaluó la evolución del peso vivo (PV), espesor de grasa dorsal (EGD) y área ojo de bife (AOB) por ultrasonografía. Para evaluar el impacto del momento de destete sobre las emisiones de CH_4 y la eficiencia energética del sistema de ciclo completo se simularon 2 rodeos (uno con DHP y otro con DT). Para ello se utilizaron datos reales de producción obtenidos en el presente estudio y se realizaron estimaciones de la producción de CH_4 en función del CMS estimado en los momentos que no se realizaron las mediciones de CMS y CH_4 . En la fase de cría, la intensidad de emisión de CH_4 del rodeo fue de 542 y 562 g/kg ternero para DHP y DT, respectivamente. Durante todo el ciclo productivo la intensidad de emisión de CH_4 fue de 492 y 511 g/kg carcasa para DHP y DT, respectivamente. Las emisiones de CH_4 durante la fase de cría, representaron el 76 y 77% del total de emisiones del ciclo completo para los rodeos con DHP y DT, respectivamente. Durante la etapa de recría, no se encontró interacción entre los 3 períodos de medición y el tratamiento de destete ($P > 0,05$), ni efecto significativo del tratamiento de destete ($P > 0,05$) en CMS y CH_4 por día. Sin embargo, el CMS difirió entre los 3 períodos de medición ($7,2 \pm 0,9$; $5,8 \pm 1,1$ y $10,3 \pm 1,0$ kg/d (Media \pm DE) en

primavera, verano y corral, respectivamente; $P < 0,01$). La emisión diaria de CH_4 de novillos fue mayor en verano que en corral ($229 \pm 27,2$ y $164 \pm 38,4$ g/animal, respectivamente; $P < 0,01$), y la de primavera similar a las dos anteriores ($189 \pm 38,6$ g/animal; $P > 0,05$). La intensidad de emisión de CH_4 fue mayor en verano ($322,4 \pm 80,8$ g/kg carcasa) respecto a primavera y corral ($P < 0,05$); sin encontrarse diferencias entre estas últimas ($195,7 \pm 34,4$ y $131,6 \pm 57,6$ g/kg carcasa, respectivamente; $P > 0,1$). La producción de CH_4 por unidad de CMS fue diferente ($P < 0,05$) entre verano, primavera y corral ($39,5 \pm 5,6$, $26,8 \pm 4,6$ y $14,3 \pm 6,2$ g/kg CMS, respectivamente). No se registraron diferencias ($P > 0,05$) en EGD ni en AOB entre los novillos de DHP y DT. Al final del DT, el PV de las vacas DHP fue 38 kg mayor ($P < 0,01$) que el de las vacas DT. Contrariamente, al finalizar el ciclo productivo, el PV promedio de los novillos DT fue 25,8 kg mayor ($P < 0,01$) que los novillos DHP. La menor respuesta productiva de los novillos DHP no se tradujo en mayor intensidad de emisiones de CH_4 . Se concluye que adelantar el destete puede ser una alternativa para disminuir la intensidad de emisiones de CH_4 de sistemas de producción de carne en etapas de cría o de ciclo completo. Los resultados obtenidos aportan al conocimiento sobre factores de emisión CH_4 de novillos para carne representativos de la región durante la etapa final de la recría pastoril en primavera y verano y la posterior terminación a corral.

Palabras claves: eficiencia, consumo, rodeo

ABSTRACT

The production of enteric methane (CH₄) represents a loss of efficiency in the use of energy from cattle production systems and, in addition, constitutes the main greenhouse gas (GHG) generated in livestock activity. The objectives of the work were (a) to evaluate the impact of weaning age on energy utilization from a whole cycle beef production systems, and (b) to provide local information through on-site measurements of CH₄ emissions at individual level during steers rearing and fattening stages. To do this, thirty-two cows were selected and assigned, at equal weight and age, to two treatments, early weaning (EW) and traditional weaning (TW). The EW and TW were performed at 53 ± 6 and 205 ± 12 d of calf age, respectively. Early weaning calves were fed with a commercial concentrate during 30 d, and then were offered a diet of 2.7 Mcal/kg MS and 17% PB for 125 d until the TW calves were weaned. Afterward, calves from both treatments were placed on equal conditions and began the pastoral rearing on pastures of *Festuca arundinacea*, *Medicago sativa* and *Trifolium repens*. Once the steers reached 281 kg of live body weight (BW), they started the fattening phase on feedlot until 364 kg BW with a 68% maize grain diet (DM base). Dry matter intake (DMI) and CH₄ emissions were measured on steers during spring, summer, and fattening period. During the whole productive cycle, the evolution of BW, dorsal fat thickness (DFT) and rib eye area (REA) were evaluated. To study the effect of weaning age on CH₄ emissions and energy use efficiency of the system, two complete herds (with EW or TW) were simulated. Simulations were based on actual performance, DMI and CH₄ emissions obtained in the present study. In the breeding phase, the estimated total CH₄ emission of the herd was 542 and 562 g/kg calf for EW and TW, respectively. Total CH₄ emission from the whole system (cow/calf to fattening) was 492 and 511 g/kg carcass for EW and TW, respectively. The breeding phase contributed 76 and 77% of the total CH₄ emissions for EW and TW herds, respectively. There were no interaction among measurement periods and weaning date ($P > 0.05$), and no significant effect of weaning age ($P > 0.05$) were observed on DMI and CH₄ emissions per animal per day. However, significant effect of measurement period was observed for DMI in spring, summer, and feedlot (7.2 ± 0.9 , 5.8 ± 1.1 , and 10.3 ± 1.0 kg/day (Mean \pm SD), respectively; $P < 0.01$). Daily CH₄ emission was higher in summer than in feedlot (229 ± 27.2 and 164 ± 38.4 g/animal, respectively; $P < 0.01$). Daily methane emission on spring was similar to summer and feedlot (189 ± 38.6 g/animal; $P > 0.05$).

Methane emission intensity was significantly higher in summer (322.4 ± 80.8 g/kg carcass; $P < 0.05$) than spring and feedlot phase (195.7 ± 34.4 , and 131.6 ± 57.6 g/kg carcass, respectively). There were no differences ($P > 0.05$) in DFT and REA between EW and TW steers. At the end of the TW (March), BW of EW cows was 38 kg higher ($P < 0.01$) than that of the TW cows. On the contrary, at the end of the productive cycle, the average BW of TW steers was 25.8 kg greater than the EW steers ($P < 0.01$). The lower productive response of EW steers had no impact on the intensity of CH_4 emissions of the complete production system. It is concluded that early weaning can be an alternative to reduce the intensity of CH_4 emissions from breeding to complete beef production systems. The results obtained in the present study contribute to the knowledge on CH_4 emission factors of beef steers representative to the region during the final stage of pastoral rearing in spring and summer and the subsequent feedlot phase.

Keywords: efficiency, dry mater intake, herd

1 INTRODUCCIÓN

El incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera es uno de los factores que influyen en el aumento en la temperatura promedio del planeta y en el cambio climático (IPCC, 2007). Se estima que desde el año 1970 hasta el 2000, la tasa de aumento de GEI fue de 1,3% anual y desde el año 2000 al 2010 fue del 2,2% anual (IPCC, 2014).

Desde el año 1950 se ha observado la ocurrencia de eventos extremos asociados al cambio climático (IPCC, 2014). Estos fenómenos tienen incidencia directa en la producción de alimentos y a la calidad de vida de las personas. Para atenuar el impacto sobre el cambio climático, es necesario que todos los sectores económicos realicen acciones para detener el aumento de la temperatura global, esto implica la reducción sostenida de las emisiones de GEI (IPCC, 2014).

El sector ganadero contribuye con la emisión de GEI, siendo los principales gases emitidos el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). El CO_2 es producido por la combustión o respiración de compuestos carbonados. El CH_4 es producido en condiciones de anaerobiosis, como ser la fermentación entérica, descomposición de heces y la emisión proveniente del suelo en áreas anegables. El N_2O es producido a través de procesos de nitrificación y desnitrificación por el cual parte del nitrógeno (N) proveniente del suelo, de la orina o de fertilizantes sintéticos se convierte en N_2O y es liberado al ambiente (Gerber *et al.*, 2013). En un sistema de producción de carne vacuna el CH_4 adquiere especial relevancia pues representa el 63% del total de GEI emitidos por el sistema (Beauchemin *et al.*, 2010). La principal fuente de emisión de CH_4 es producto de la fermentación ruminal de carbohidratos y se encuentra asociado con el consumo de materia seca (CMS) y la digestibilidad de la materia seca (DMS; Johnson y Johnson, 1995).

En los sistemas ganaderos de producción de leche (Gerber *et al.*, 2011; Buddle *et al.*, 2011) o carne vacuna (Hristov *et al.*, 2013a) la eficiencia se encuentra inversamente relacionada con las emisiones de GEI por unidad de producto. Los animales de mayor nivel de producción emiten mayores cantidades absolutas de GEI por animal y por día. Sin embargo, un aumento de la producción individual disminuye las emisiones de GEI por

unidad de producto animal logrado (intensidad de emisiones, g GEI/kg carne o leche; Hristov *et al.*, 2013b). Debido a esto, el incremento en la eficiencia de producción del sistema puede considerarse como una alternativa de mitigación de GEI en sí misma. De esta manera sistemas de producción más eficientes tendrían una menor intensidad de emisiones de GEI.

Entre las principales estrategias de mitigación existen aquellas que reducen directamente las emisiones de CH₄ por unidad de CMS a través del manejo de la alimentación (Beauchemin *et al.*, 2008), y otras referidas al manejo estratégico del rodeo (Hristov *et al.*, 2013a).

A partir de estudios de modelación de emisiones de CH₄ a nivel de un sistema de producción de carne, se ha comprobado que el par vaca ternero es responsable del 81% de las emisiones, siendo un 79% correspondiente a la vaca de cría y un 2% al ternero (Beauchemin *et al.*, 2011). La cría bovina Argentina se caracteriza por tener bajos índices de procreo (61,4% de destete) en su rodeo nacional (SENASA, 2018), con rangos que varían entre 50-70% para productores promedio y 80-90% para productores con mayor adopción de tecnología (Carrillo y Schiersmann, 1992). Es decir, a nivel país es necesario mantener anualmente 1,6 vacas por cada ternero destetado. Esto pone en evidencia el gran potencial para mejorar la eficiencia productiva (kg ternero/ha) y al mismo tiempo disminuir la intensidad de emisiones (g CH₄/kg ternero destetado) que tienen nuestros sistemas de producción de carne vacuna.

Entre las alternativas posibles para incrementar la eficiencia reproductiva en rodeos de cría se encuentran el manejo sanitario, eliminación de vientres improductivos, disminución la edad al primer entore, selección genética por fertilidad (Hristov *et al.*, 2013a), prueba de capacidad de servicio de los toros, estacionamiento del servicio y selección de época de servicio (Carrillo *et al.*, 1998). Además de las técnicas mencionadas, es posible incorporar la técnica del destete anticipado, que consiste en sustituir la leche materna como fuente de alimentación de ternero por la utilización de alimentos concentrados formuladas específicamente para cubrir los requerimientos energéticos y proteicos de los terneros destetados a los 30-60 d postparto. Las principales ventajas de anticipar la fecha del destete en las vacas son, por un lado, aumentar la eficiencia reproductiva del rodeo (Williams, 1990; Randel, 1990), y por el otro, una disminución de los requerimientos

energéticos debido a la supresión de la lactancia (Arthington y Minson., 2004; Arthington y Vendramini, 2013). Además, no se verían afectados los parámetros productivos de la progenie (Fluharty *et al.*, 2000).

En Argentina, no se dispone de información sobre emisiones de CH₄ en sistemas de producción ganaderos con diferentes niveles de intensificación, ni sobre el efecto del adelantamiento del destete sobre las emisiones de CH₄ de las vacas, la progenie, y su impacto en el sistema. A partir de estos conceptos, se plantearon las hipótesis que se detallan a continuación:

Hipótesis

1) Las emisiones de CH₄ son menores en vacas de destete hiperprecoz (DHP) con respecto a las vacas destete tradicional (DT) debido a la disminución del nivel de consumo por la supresión anticipada de la lactancia.

2) Las emisiones de CH₄ de novillos de recría y engorde no dependen del momento del destete, debido a que dependen del nivel de consumo de materia seca (CMS) y de la calidad de la oferta forrajera.

3) No existen diferencias en aumento diario de peso vivo (ADPV), área ojo de bife (AOB) y espesor de grasa dorsal (EGD) de los novillos de DHP y DT dado que la alimentación durante la fase de recría y engorde será similar entre tratamientos.

4) La intensidad de emisiones de CH₄ de todo sistema disminuye al acortar el período de lactancia como resultado del destete anticipado.

Objetivo general

Evaluar el impacto del adelantamiento del destete en indicadores de eficiencia a nivel de sistema de producción de ciclo completo y brindar información local mediante mediciones *in situ* de emisiones de CH₄ y respuesta productiva durante la recría y engorde de novillos con diferentes momentos de destete.

Objetivos específicos

1) Cuantificar las emisiones de CH₄ en vacas de cría en lactancia y secas, provenientes de DT y DHP, respectivamente.

2) Evaluar las emisiones de CH_4 de terneros provenientes de DHP y DT en etapa de recría en pastoreo y terminación a corral.

3) Comparar el ADPV, AOB y EGD en animales de DHP vs DT durante la recría en pastoreo y terminación a corral.

4) Evaluar la participación de cada categoría del rodeo en el total de las emisiones de CH_4 y la intensidad de emisiones de CH_4 de un sistema con DHP y DT.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), el rol de la producción bovina

Las emisiones antropogénicas de GEI dependen principalmente del tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, el uso del suelo y la tecnología. A nivel global, cada sector económico contribuye de manera diferente a la emisión de GEI. Así, a nivel mundial, la generación de energía contribuye con 34,6% del total de emisiones, la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo con el 24%, industria con el 21%, el transporte con el 14%, y el sector residencial con el 6,4%. Los principales GEI producidos son el CO₂ (75%), el CH₄ (17%), el N₂O (7,4%) y los gases fluorados (0,84%; IPCC, 2014). Cuantitativamente las emisiones de CH₄ y N₂O son menores, no obstante su importancia radica en que su potencial de calentamiento es 28 y 265 veces superior al del CO₂, respectivamente (IPCC, 2014).

Puntualmente el sector ganadero es responsable de emitir entre el 8% y 10,8% del total de emisiones de GEI a nivel mundial (O'Mara, 2011). El crecimiento demográfico proyectado hacia el 2050 plantean un desafío sin precedentes al sistema alimentario mundial, sumado a esto se proyecta un aumento del poder adquisitivo con lo cual aumenta la demanda de proteína de origen animal. Se espera que esto genere un aumento del 73 y 54% de la demanda en carne y leche, respectivamente, con referencia al año 2010 (FAO, 2011). Debido a esto, el sector ganadero debe generar tecnologías y capacidades para mitigar las emisiones de GEI y al mismo tiempo garantizar la seguridad alimentaria.

A nivel mundial, dentro del sector ganadero, la producción de carne bovina contribuye con el 41% de las emisiones de GEI. En orden de importancia sigue la producción de leche bovina (20%), carne de cerdo (9%), carne y leche de búfalos (8%), huevos y carne de pollo (8%), pequeños rumiantes (6%), el resto proviene de especies y productos no comestibles (Gerber *et al.*, 2013). En cuanto al potencial de reducción de las emisiones de GEI, se encuentran, la producción bovina (65%), aviar (14%), bubalina (8%), porcina (7%) y pequeños rumiantes (7%; Gerber *et al.*, 2013).

En general, aquellos países con sistemas productivos menos intensificados se caracterizan por tener deficiencias en la alimentación y manejo de los animales, lo cual trae como consecuencia un menor nivel de productividad. Según O'Mara (2011), las regiones más eficientes (Europa, América del Norte y la antigua Unión Soviética) son responsables del 25,5% de las emisiones de CH₄ entérico y producen 46,3% de la carne mundial. Por el contrario, aquellas regiones menos eficientes (Asia, África, América Latina) son responsables del 69% de las emisiones de CH₄ entérico y producen 47,1% de la carne mundial. Esto indicaría que aquellos países que tienen mayor adopción de tecnologías, y por ende mejores índices productivos, tendrían menor intensidad de emisiones en sus productos pecuarios.

A nivel mundial los principales GEI producidos dentro del sector ganadero son el CH₄ (44%), N₂O (29%) y CO₂ (27%; Gerber *et al.*, 2013). En la Argentina, del total de GEI emitidos por el sector ganadero, la fermentación entérica representa un 51%, seguido por el cambio de uso del suelo (26,2%) asociado a la conversión de suelos forestales y pastizales a cultivos de forrajes, producción de granos para alimentación animal (20,6%) y descomposición de heces (2,2% MAyDS, 2017).

En la Argentina, la emisión total de GEI del sector Agricultura y Ganadería (año 2016) representa un 39% del total de emisiones nacionales. Dentro de dicho sector, la emisión de CH₄ por fermentación entérica representa el 37% del total de GEI. En base a esto se estima que el CH₄ entérico representa un 14,6% del total de las emisiones nacionales de GEI (MAyDS, 2017). La participación relativa de las emisiones de CH₄ en el total de las emisiones de GEI depende de la matriz productiva de cada país o región. Por ejemplo, en Brasil debido a la importancia de la ganadería (213.000.000 de cabezas) la emisión de CH₄ entérico representa un 18,4% del total de GEI (TCN, 2016). En cambio en Estados Unidos, la emisión de CH₄ entérico representa un 2,5% del total de GEI debido a la importancia de las emisiones de CO₂ proveniente de la industria y la quema de combustibles fósiles (EPA, 2015).

Dada la importancia de la emisión de CH₄ entérico como el principal GEI producto de la actividad ganadera se abordarán a continuación los procesos que conducen a su formación y posibles vías de mitigación.

2.2 Metanogénesis ruminal

En los rumiantes, la fermentación microbiana descompone los hidratos de carbono complejos en moléculas simples. En este proceso, los microorganismos del rumen obtienen energía a partir de la glucólisis y producen ácidos grasos volátiles (AGV), ATP, NADH⁺, H⁺, y CO₂. Los microorganismos toman el ATP como fuente de energía y eliminan AGV como producto de desecho que sirven como fuente de energía y precursores para los procesos de síntesis de tejidos del animal. Para degradar una segunda molécula de glucosa los microorganismos necesitan que el cofactor que se ha reducido (NADH⁺) sea nuevamente oxidado (NAD). Debido a que el sistema ruminal es un medio anaeróbico, no existe una cadena respiratoria que acepte estos protones (H⁺), los que son entonces transferidos a aceptores o sumideros de H⁺. Uno de los sumideros más importantes en este ambiente anaeróbico es el CO₂, originando la formación de CH₄ y agua (Relling y Matioli, 2003).

La mayor parte del CH₄ entérico se produce en el retículo-rumen (90%) siendo eliminado principalmente a través de la eructación. El resto (10%) se produce en el intestino grueso, donde el 11% se excreta a través del ano y el 89% es transportado por la sangre y eliminado en forma gaseosa en la respiración pulmonar (Murray *et al.*, 1976).

En el rumen, el CH₄ es producido por un grupo de microorganismos anaeróbicos estrictos pertenecientes al dominio Archaea (Klass, 1984). La producción de CH₄ es una pérdida de energía inevitable para el animal, debido a que la eliminación de H⁺ es necesaria para mantener el equilibrio REDOX del sistema ruminal, las principales vías de eliminación de H⁺ a nivel ruminal son la producción de CH₄, formación de ácido propiónico, y la biohidrogenación de lípidos (Dijkstra *et al.*, 2005).

Según Johnson y Johnson (1995) existen dos factores que causan variaciones en la cantidad de CH₄ entérico producido; el primero es la cantidad de carbohidratos fermentados en el retículo-rumen que depende del CMS. El segundo factor es la cantidad de hidrógeno (H⁺) liberado en la fermentación de la materia orgánica (MO) y tiene una relación directa con el tipo de AGV producido en la fermentación ruminal (Russell y Wallace, 1997).

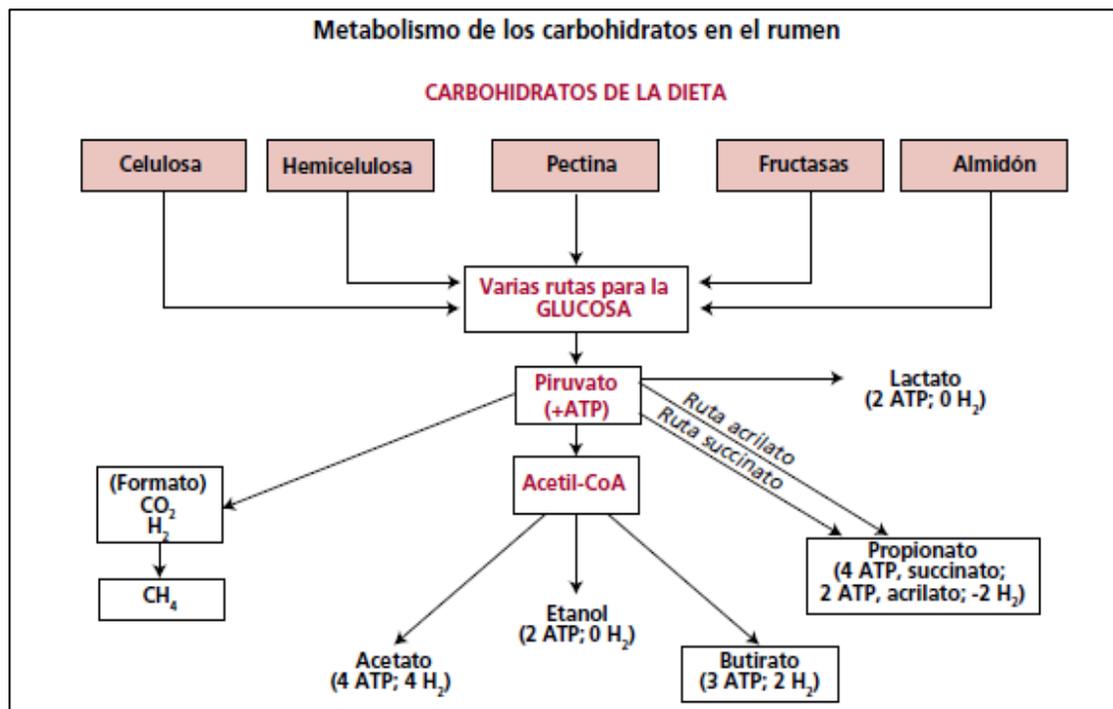


Figura 1. *Metabolismo de carbohidratos en el rumen (Adaptado de Gerber et al., 2013).*

Teniendo en cuenta la estequiometría ruminal descrita por Baldwin (1970) y Van Soest (1982), la generación de H^+ es mayor en la producción de acetato ($8H^+$) que en la producción de butirato ($4H^+$); mientras que en el caso de la producción de propionato éste se comporta como un sumidero ($-4H^+$; Figura 1). La proporción que se genere en el rumen de los distintos AGV, y en consecuencia la cantidad de H^+ , varía en función de la dieta consumida. Con altos niveles de fibra la proporción molar de acético:propiónico:butírico es de 70:20:10. En tanto que, en dietas con alto nivel de almidón, la proporción de ácido propiónico incrementa a expensas de una reducción del ácido acético (Dijkstra *et al.*, 2005). Esto explica, en parte, porqué aquellos animales alimentados con dietas de alto contenido de almidón son más eficientes en el uso de la energía, dado que generan mayor cantidad de ácido propiónico y pierden menos energía a través de la formación CH_4 . La proporción de pérdida del total de la energía bruta consumida a través de la producción de CH_4 (Ym) puede variar entre el 2 y el 12% en función de la calidad del alimento (Johnson y Johnson, 1995). El Ym se utiliza para realizar los inventarios nacionales de GEI y para comparar distintas alternativas de formulación de dietas y oportunidades de mitigación. Según Liu *et al.* (2017), expresar las

emisiones de CH₄ en términos de Y_m contribuye a representar de manera más precisa la variación de las emisiones de CH₄ debido a tratamientos dietarios.

2.3 Estrategias de mitigación de metano

En la bibliografía existen numerosos reportes de estrategias de mitigación de CH₄, las cuales pueden interaccionar entre sí. La factibilidad de uso de cada estrategia depende en mayor medida de las características del sistema de producción, por ejemplo el uso de grano y pasturas mejoradas en sistemas de producción de carne intensivos y extensivos, respectivamente (Buddle *et al.*, 2011). A continuación, se describen las principales alternativas de mitigación las cuales se clasificaron en manejo de la alimentación y manejo del rodeo.

2.3.1 Manejo de la alimentación

El manejo de la alimentación en sistemas ganaderos puede tener un potencial de reducción hasta 30% en las emisiones de CH₄ a nivel individual (Hristov *et al.*, 2013 a). Una de las alternativas de mitigación de CH₄ puede ser a través del aumento del nivel de almidón en la dieta ya que genera una variación en la proporción de los AGV como se discutió anteriormente. Además, genera una modificación en el ambiente ruminal, aumenta la tasa de pasaje y disminuye el pH, lo cual genera condiciones menos propicias para la proliferación de bacterias metanogénicas (Van Soest, 1982). Al aumentar la proporción de concentrado en dietas de engorde de 60 a 90%, Lovett *et al.* (2003) encontraron diferencias significativas en la emisión diaria de CH₄ (270 vs 170 g/animal).

La incorporación de lípidos en la dieta podría ser otra estrategia de mitigación, ya que son una alternativa de fijación de H₂ en el proceso de biohidrogenación de ácidos grasos (Czerkawski *et al.*, 1966). Además, los lípidos inhiben la actividad de los microorganismos metanogénicos y disminuyen la degradación de la fibra (Machmüller y Kreuzer, 1999; Vogels *et al.*, 1980). Trabajos reportados por Beauchemin *et al.* (2008) determinaron que por cada 1% de aumento en el contenido de lípidos con alta proporción de ácidos grasos insaturados de la dieta se produce una reducción de 5,6% en la producción de CH₄ por unidad de CMS, no obstante recomiendan la inclusión de lípidos hasta un 7% de la MS para no afectar el CMS debido al efecto de los lípidos sobre la digestión de la fibra.

Otras alternativas de mitigación de CH₄, con resultados promisorios en experimentos *in vitro* son el uso de taninos y saponinas. Estos, son metabolitos secundarios presentes en las plantas que tienen potencial de disminuir la producción de CH₄ (Wallace, 2004) por su efecto inhibitorio sobre el crecimiento de bacterias metanogénicas y sobre la digestión de la fibra (Tavendale *et al.*, 2005; Hess *et al.*, 2006). No obstante, una disminución de la digestión de la fibra mediante la incorporación de taninos y saponinas podría estar asociado a una restricción en el CMS (Van Soest, 1994).

También se han encontrado una disminución en la producción de CH₄ mediante la inclusión de ionóforos (monensina, lasalocid), pues al disminuir la relación acético/propiónico, esto genera una reducción de la producción de CH₄, y aumenta la eficiencia de conversión ya que el propiónico es utilizado con mayor eficiencia para la obtención de energía (Waghorn *et al.*, 2008; McGuffey *et al.*, 2001; Guan *et al.*, 2006; Beauchemin *et al.*, 2008).

Otros aditivos utilizados y reportados en la bibliografía son los ácidos orgánicos (Russell; Wallace, 1997; Bayaru *et al.*, 2001; Ungerfeld *et al.*, 2007; McAllister y Newbold, 2008), aceites esenciales (Wallace *et al.*, 2002; Boadi *et al.*, 2004; Bodas *et al.*, 2008; Beauchemin *et al.*, 2009; Martínez Ferrer *et al.*, 2014), levaduras y enzimas (Mc Ginn *et al.*, 2004). En líneas generales estos aditivos actúan inhibiendo las bacterias metanogénicas y/o promoviendo la formación de propionato. No obstante, es necesario evaluar y validar la inclusión de dichos aditivos con mediciones de CH₄ *in vivo* y comprobar sus efectos a largo plazo.

Las opciones mencionadas son posibles de realizarlas con animales en los cuales se ejerce un control de los alimentos y componentes de la dieta que ingieren. En cambio, en sistemas menos intensificados, por ejemplo, con animales en pastoreo, existe una mayor dificultad para manipular la dieta y el ambiente ruminal. En dichos sistemas productivos las principales opciones de manejo para reducir CH₄ apuntan al mejoramiento de la calidad de la pastura, a través de la selección de especies y el manejo del pastoreo. En este sentido se ha reportado que el consumo de gramíneas C4 genera mayor emisión de CH₄ (g/kg CMS) que el de gramíneas C3 (Archimede *et al.*, 2011; Ulyatt *et al.*, 2002) debido a la mayor proporción de pared celular a igual estadio fenológico (Minson, 1981). También la consociación de gramíneas y leguminosas ha dado resultados promisorios en

cuanto a la reducción de CH₄ (g/kg CMS) tanto en mezclas de especies templadas (McCaughey *et al.*, 1999), como tropicales (Molina *et al.*, 2016). Con respecto al manejo de la pastura, a medida que avanza el estadio fenológico aumenta la proporción de pared celular (FDN; Minson, 1981) y consecuentemente aumenta las emisiones de CH₄, g/kg CMS (Blaxter y Wainman, 1964; Moe y Tyrell, 1979). Esto indica la necesidad implementar prácticas de manejo del pastoreo para evitar el consumo de las pasturas en estadios fenológicos avanzados.

Una mejora en la alimentación disminuye las emisiones de CH₄ por unidad de alimento consumido y permite acortar el tiempo a faena debido a la mayor performance animal. Ambos efectos permiten reducir las emisiones de CH₄ por unidad de producto obtenido (O'Hara *et al.*, 2003). Sin embargo, el manejo de la alimentación tiene un escaso potencial de mitigación de GEI cuando se evalúa a nivel del sistema de producción, en este sentido Beauchemin *et al.* (2011) sostienen que el manejo de la alimentación podría disminuir hasta un 2% la intensidad de emisiones de GEI del sistema.

2.3.2 Manejo del rodeo

Es conocida la relación que existe entre performance de un rodeo e intensidad de emisiones de CH₄, la cual es considerada como una de las principales alternativas de mitigación (Gerber *et al.*, 2013). Un aumento de la eficiencia productiva de un rodeo de cría podría incluir la aplicación de prácticas sencillas, como ser aumento de la eficiencia reproductiva, selección de la raza, momento estratégico del entore, mejora del status sanitario y reducción de la mortalidad, disminución en el intervalo parto-parto, flashing alimenticio previo al entore y aumento del bienestar animal a través de buenas prácticas pecuarias (Hristov *et al.*, 2013a). La aplicación conjunta de estas prácticas permite lograr un aumento en la cantidad de kg de ternero producido por vientre entorado, lo cual permitiría reducir hasta un 17% la intensidad de emisiones de GEI del sistema cuando se combinan dichas prácticas (Beauchemin *et al.*, 2011).

En la invernada es necesario priorizar el crecimiento de los animales, mediante la implementación de diferentes esquemas de recría que permitan lograr un mayor peso medio a faena (Riffel y Elizalde, 2013). Un aumento en el peso de faena tendría un beneficio desde el punto de vista ambiental ya que permitiría diluir las emisiones de todo

el sistema en mayor cantidad de kg producidos. Además, permitiría aumentar la tasa de extracción del rodeo argentino, generando así un mayor saldo exportable de carne. Si bien se conoce el efecto que tiene la calidad de la dieta en la producción de CH₄ entérico, no se conocen trabajos publicados que traten sobre estudios en las variaciones de CMS y por ende de la producción de CH₄ e intensidad de emisiones de CH₄ en novillos destetados a diferentes edades.

Transversalmente en sistemas de cría o invernada, resulta interesante destacar el impacto que tiene el mejoramiento genético animal a través de la selección de animales de mayor eficiencia de conversión como una alternativa para disminuir la intensidad de emisiones (Waghorn y Hegarty, 2011). A mayor eficiencia de conversión disminuye la emisión de CH₄ por unidad de producto (Hayes *et al.*, 2013). Una forma de elegir animales más eficientes es a través del consumo de alimento residual (CAR). El CAR es definido como la relación que existe entre el CMS observado y el CMS esperado. Así, bajo valor de CAR es un indicador de mayor eficiencia de conversión (Arthur y Herd, 2008). El CAR tiene una moderada heredabilidad (0,25; Tempelman *et al.*, 2015) por lo tanto es posible avanzar en la mejora de la eficiencia de conversión a través de la selección de animales con bajo CAR. En este sentido Hegarty *et al.* (2007) encontraron una disminución de 41,2 g CH₄/kg ADPV con animales de bajo CAR. Esto pone en evidencia que el uso de animales más eficientes en la conversión de alimentos en carne podría tener impactos positivos a nivel de un rodeo comercial y también a nivel de macro región. Un ejemplo a nivel mundial es el plan de mejoramiento genético que está realizando Australia. Según estimaciones de Alford *et al.* (2006) para el año 2025 habrán disminuido las emisiones de CH₄ en un 15,9% a nivel nacional debido a la selección de animales con bajo CAR. Además, una mejora en la conversión alimenticia resulta interesante para disminuir la controversia que existe en torno a la utilización de cereales y oleaginosas para la alimentación de rumiantes en competencia con el uso para la alimentación humana.

Para evaluar las diferentes opciones de mitigación es necesario cuantificar la producción de CH₄ entérico, ya que es el principal GEI producido en sistemas de producción bovina, a continuación se mencionan cuáles son las técnicas más apropiadas para determinar de CH₄ entérico en rumiantes.

2.4 Métodos de determinación de metano

La cuantificación del CH₄ producido por los rumiantes es un aspecto de relevancia al momento de evaluar el impacto ambiental de diferentes sistemas de producción de carne y leche. Para ello se han desarrollado distintos métodos de determinación de CH₄ que pueden variar en la escala de tiempo y número de animales utilizados. Según Patra *et al.* (2016), los métodos que permiten medir CH₄ de manera individual serían mediante cámaras de respiración (Broucek, 2014; Murray *et al.*, 1999; Kelly *et al.*, 1994), *Head Box* (Takahashi *et al.*, 1999; Place *et al.*, 2011), y la técnica del Hexafloruro de Azufre (SF₆; Johnson *et al.*, 1994), detector laser de CH₄ (Chagunda, 2013), *Green Feed* (Hammond *et al.*, 2015), *Methane Hood System* (Troy *et al.*, 2016) y *Face Mask Method* (Washburn y Brody, 1937). En cambio aquellas técnicas que permiten medir CH₄ a un grupo de animales pueden ser mediante micro meteorología (Harper *et al.*, 1999), ó a través del *Polytunnel method* (Lockyer y Jarvis, 1995). Otras alternativas que permiten cuantificar indirectamente la producción de CH₄ pueden ser a través de técnicas *in vitro* (RUSITEC; Czerkawski y Breckenridge, 1977). También se han desarrollado modelos que predicen la producción de CH₄ de animales alimentados con distintas dietas y en diferentes estados fisiológicos (IPCC, 2006; Wilkerson *et al.*, 1995; Pelchen y Peters, 1998; Ricci *et al.*, 2013; Dijkstra *et al.*, 2011).

En el presente trabajo, dado la disponibilidad de recursos, y la necesidad de evaluar la producción de CH₄ en condiciones pastoriles, se optó por utilizar la técnica de SF₆ para cuantificar la producción de CH₄ de manera individual. Si bien se ha reportado en la bibliografía que la técnica de SF₆ posee una mayor variabilidad en la determinación de CH₄ entérico (CV entre 11,5 a 15,5%, Lassey *et al.*, 1997; McNaughton *et al.*, 2005; Pinares-Patiño *et al.*, 2011) con respecto a las mediciones generadas en cámaras de respiración (7-8%, Blaxter y Clapperton, 1965), la técnica propuesta es avalada en la comunidad científica para cuantificar el CH₄ entérico producido en condiciones reales de producción, tanto en animales en pastoreo como alimentados a corral (Patra *et al.*, 2016). Esta técnica consiste en la colocación de un bolo de permeación en el rumen que libera el gas marcador (SF₆) a una tasa conocida (mg/d). Este gas es eliminado por el animal al ambiente junto con el CH₄ entérico. El aire exhalado y eructado por el animal es colectado en contenedores o tubos que se encuentran con presión de vacío. Estos tubos se conectan a un restrictor de flujo de aire que se colecta en el tubo, permitiendo coleccionar

muestras del aire eliminado por los animales en la proximidad de los orificios nasales por un período determinado de tiempo (Johnson y Johnson, 1995). La concentración de SF₆ y de CH₄ de la muestra extraída del tubo es determinada por cromatografía gaseosa. La emisión de CH₄ se calcula a partir de la tasa de liberación de SF₆ y la concentración de SF₆ y CH₄ en la muestra recolectada de cada animal y en el ambiente, mediante la fórmula propuesta por Lassey *et al.* (1997). En la Argentina el equipo de investigación liderado por el Dr. Roberto Gratton (UNCPBA) realizó una modificación de esta técnica. Consistió en la sustitución del tubo al vacío de 0,5 L en lugar de 2 L y el remplazo de los capilares de acero inoxidable como restrictores de flujo de aire por restrictores de esfera roscada. Estos últimos son calibrados para obtener una muestra continua del gas expirado por un periodo de 5 d (Gere y Gratton, 2010) en lugar de 24 h como indicaba el método original (Johnson y Johnson, 1995).

En líneas generales la bibliografía revisada indica que existe bastante información acerca de la importancia de la ganadería en las emisiones de GEI, factores que afectan la producción de CH₄ entérico y posibles vías de mitigación. La Mayoría de las alternativas de mitigación propuestas hacen referencia al manejo de la alimentación y estrategias a nivel del animal individual, sin embargo en la mayoría de los casos no se referencia su efecto a nivel de todo el sistema productivo. Con respecto al destete anticipado, es conocido que existe una relación entre la producción de leche de las vacas y los requerimientos energéticos (Lusby y Parra, 1981). No obstante es escasa la información publicada acerca del efecto de la supresión de la lactancia en las emisiones de CH₄ de vacas y la intensidad de emisiones de un sistema de cría bovina, lo cual motiva su estudio en el presente trabajo.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Sitio Experimental

El trabajo de campo fue realizado en Unidad Integrada Balcarce (EEA INTA Balcarce/ FCA UNMdP). Para estudiar el efecto del DHP sobre la producción total de CH₄ de un sistema de producción de carne de ciclo completo, se realizaron estimaciones de CMS y CH₄ a partir de variables productivas registradas del sistema de cría de la Reserva N° 6. En tanto que en la recría y engorde se realizaron mediciones y estimaciones de CMS y CH₄ en el Módulo de Invernada Intensiva de la Reserva N° 7. Las precipitaciones medias anuales de la región son de 915 mm y la temperatura media anual de 13,9°C (Estación meteorológica EEA Balcarce).

3.2 Animales y Tratamientos

A partir de un rodeo de 80 vacas Angus, de parición Agosto a Septiembre de la Reserva N° 6 de la EEA Balcarce, se seleccionaron 32 vacas madres de terneros machos de 353 ± 38 kg de peso vivo (PV; Media ± DE) y fecha promedio de parto 19/08/2014 ± 11 d. Las mismas fueron asignadas de manera aleatoria a 2 tratamientos (n = 16). Los tratamientos consistieron en 2 momentos de destete, destete hiperprecoz (DHP) y destete tradicional (DT). El DHP se realizó el d 07/10/2014 a los 53 ± 10 d de edad del ternero y 52,7 ± 6,7 kg de PV. El DT se realizó el d 10/03/2015 donde los terneros tuvieron 205 ± 12 d de vida y un PV de 142,5 ± 25,4 kg.

3.3 Manejo de terneros de destete hiperprecoz

Los terneros del tratamiento DHP fueron alimentados con heno de alfalfa y un concentrado energético comercial (19,1% PB; 90% DMS), desde el 07/10/2014 (d 0) hasta el 05/11/2014 (d 30) en la Reserva N° 6. Luego, fueron trasladados a la Reserva N° 7 donde permanecieron a corral hasta el 10/03/2015 (d 125), alimentados con una dieta compuesta por 30% de heno de *Festuca arundinacea* y *Trifolium repens*, 40% grano de maíz partido, 30% pellet de harina de girasol, a los fines de lograr una dieta objetivo de 2,7 Mcal/kg MS y 17% de PB. El alimento se entregó una vez por d a las 9:00 h. La última semana de permanencia en los corrales, se realizó el período de acostumbramiento a dietas con alto nivel de fibra, donde se suministró heno a voluntad, mientras que la cantidad de concentrado disminuyó un 15% por d.

3.4 Pasturas utilizadas y manejo del pastoreo

La etapa de cría se realizó sobre pasturas de *Thinopyrum ponticum* en la Reserva N°6 bajo un protocolo de manejo del pastoreo denominado “Sistema integrado de manejo pastoril ligado al estado de las pasturas” (S.I.M.P.L.E). Dicho protocolo contempla aspectos ligados a las pasturas, a los fines de lograr un balance adecuado entre los procesos de crecimiento y senescencia del forraje. Además, contempla la confección de heno con el excedente del crecimiento durante la primavera para ser utilizado en la época invernal como único alimento ofrecido a las vacas de cría en buena condición corporal.

En cuanto a la progenie, el d 11/03/2015 los terneros provenientes de DHP (n=16) y DT (n=16) ingresaron a una etapa de recría pastoril bajo igualdad de condiciones de manejo en el Módulo de Invernada Intensiva por un periodo de 307 d. La carga animal promedio anual fue de 3,6 animales/ha. Durante esta etapa los animales utilizaron pasturas consociadas en dos lotes, un lote de 2,9 ha de *Festuca arundinacea* y *Medicago sativa*, y en otro lote de 5,96 ha de *Festuca arundinacea* y *Trifolium repens*.

El manejo del pastoreo se realizó en franjas de ocupación entre 1 a 3 d. Se estableció una asignación forrajera, en base a la altura de la pastura, entre 3 y 6% PV/animal/d en otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente. El aumento de la asignación forrajera durante la primavera-verano fue debido a la baja respuesta animal observada durante el otoño-invierno. Para ello se midió la altura de la pastura con un pasturómetro (Hodgson *et al.*, 1986) en 30 sitios de muestreo por parcela recorridos en zig-zag antes del ingreso a la nueva parcela. El pasturómetro es un dispositivo que cuenta con una varilla metálica graduada en centímetros. Sobre la varilla se desplaza un plato acrílico de sección circular (0,1 m² y 529 g) que permite registrar la altura de la pastura cuando se deja caer el plato sobre la superficie de la canopia. Las curvas de calibración (altura vs. biomasa) fueron obtenidas estacionalmente en cada recurso forrajero. La calibración consistió en la medición de altura y biomasa forrajera en nueve puntos en la zona de máxima, mínima e intermedia oferta forrajera. En cada punto se registró la altura y luego se realizó un corte al ras del suelo de todo el forraje circunscripto al área del plato con la ayuda de un aro metálico de igual superficie que el plato del pasturómetro. La biomasa de cada corte se pesó en fresco y se tomaron muestras para secar en la estufa a 60° hasta

peso constante para determinar el % MS. Luego se realizó la regresión entre altura (cm) y disponibilidad forrajera (kg MS/ha).

3.5 Engorde a corral

El d 13/01/2015 los novillos ingresaron a un corral de terminación con 281 ± 28 kg de PV por un período de 66 d hasta la faena a los 364 ± 32 kg de PV. La superficie de corral asignada fue de $20 \text{ m}^2/\text{animal}$ y el frente de comedero fue de $15 \text{ cm}/\text{animal}$. La dieta suministrada en esta etapa estuvo compuesta por grano de maíz partido (67,9%), ensilaje de planta entera de maíz (22,9%), pellet de harina de girasol (6,3%), núcleo vitamínico-mineral con monensina (2,1%) y urea (0,8%). La mezcla se realizó en un mixer horizontal® Montecor de 9 m^3 y se suministró 1 vez por día a las 08:00 h luego de la lectura del comedero.

3.6 Alimentos

Las pasturas y alimentos concentrados utilizados en la etapa de cría se detallan en Tabla 1.

Tabla 1. Valores de digestibilidad de materia seca utilizados en las estimaciones.

Alimento	Digestibilidad Materia Seca (%)
<i>Thinopyrum ponticum</i> Primavera	66,9 (a)
<i>Thinopyrum ponticum</i> Verano	59,1 (a)
<i>Thinopyrum ponticum</i> Otoño	64,6 (a)
<i>Thinopyrum ponticum</i> Invierno	66,0 (a)
Dieta Corral Crianza Artificial	71 (b)
Concentrado energético comercial	90,0 (c)

Fuentes: (a) Diego Alvarez (2008); (b) Estimado a partir de Guaita y Fernández. (2011); (c) Laboratorio Nutrición animal UIB.

En las pasturas utilizadas durante la recría se tomaron 6 muestras por estación (otoño, invierno, primavera y verano). Luego, se realizó un pool por estación para la evaluación de la calidad del forraje ofrecido. El muestreo de la pastura para análisis de calidad se realizó mediante el método *hand plucking* (Cook, 1964) cada 15 d. En el corral se confeccionó un *pool* del alimento ofrecido durante el período de medición de CH_4 , la cual

estuvo compuesta por 5 sub-muestras (d) que fueron tomadas directamente del comedero inmediatamente después del suministro.

Todas las muestras de alimento fueron pesadas en fresco y secadas en estufa de circulación de aire forzado a una temperatura de 60 °C hasta peso constante. A partir de los pesos frescos y secos se determinó el %MS. Luego las muestras de pasturas y la muestra de la dieta del corral de terminación se enviaron al laboratorio de nutrición animal del INTA EEA Balcarce para la determinación de los siguientes análisis:

- Materia orgánica (MO; AOAC 1990)
- Proteína Bruta (PB; LECO FP 528)
- Digestibilidad *in vitro* (DIVMS; ®Ankom technologies)
- Fibra detergente neutro (FDN; Van Soest *et al.*, 1991)
- Fibra detergente ácida (FDA; Van Soest *et al.*, 1991)
- Lignina (Goering y Van Soest, 1970)
- Extracto etéreo (AOAC, 1990)
- Almidón (MacRae *et al.*, 1968)

Para estimar la energía metabolizable (EM) del alimento se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Energía metabolizable (McalEM/kgMS)} = 3,608 \times \frac{\text{DIVMS}}{100} \text{ (NRC, 1984)}$$

3.7 Mediciones sobre los animales

3.7.1 Vacas

En vacas de ambos tratamientos se midió mensualmente el PV individual sin desbaste previo desde Octubre 2014 hasta Septiembre 2015.

3.7.2 Terneros

En terneros se realizaron mediciones individuales de PV, área ojo de bife (cm², AOB), espesor de grasa dorsal (mm, EGD), consumo de materia seca (kg MS/d, CMS), producción de CH₄ (g/d), y en el frigorífico se determinó el peso de la res caliente y rendimiento al gancho. Se registró el PV, sin desbaste previo, desde el día del nacimiento

hasta el final del período de engorde. El intervalo entre pesadas fue entre 21 a 30 d. Todas las pesadas se realizaron entre las 8:30 y 9:00 h mediante una balanza digital. Previo del embarque al frigorífico se realizó una pesada con desbaste de 24 h. El ADPV se determinó por regresión lineal en 4 períodos, desde el d 0 hasta la fecha de DT (d 205), hasta mitad del pastoreo (d 361), hasta fin pastoreo (d 512) y hasta fin de período de engorde a corral (d 578). El AOB y EDG se determinaron por ultrasonografía al inicio y final de la recría pastoril, y al finalizar el periodo de engorde. Se utilizó un ecógrafo (Pie Medical S200) con transductor lineal de 3,5 Mhz de 18 cm de largo, el acoplante utilizado fue aceite vegetal comestible. Las mediciones se realizaron sobre la zona de proyección del músculo *longissimus dorsi* entre la 12° y 13° costillas del lado izquierdo.

3.8 Consumo de materia seca (CMS)

En la fase de cría se estimó el CMS de todas las categorías que componen de los rodeos simulados. En cambio, durante la fase de recría y engorde se determinó el CMS de los novillos en tres momentos, en primavera, verano (recría pastoril) y durante el período de engorde a corral, durante el resto de los períodos el CMS fue estimado.

En todas las categorías donde se estimó el CMS, se realizó el cálculo en función de la energía requerida (Mcal EM/d) sobre el contenido de energía del alimento ofrecido (Mcal EM/kg MS; NRC, 2001). El CMS de los terneros de DT, se calculó por diferencia entre los requerimientos energéticos del ternero y el aporte energético de la leche. En los momentos en los que el aporte energético de la leche no cubría los requerimientos estimados de los terneros, la energía faltante se asumió que provenía del consumo de pasturas de similar calidad a la que consumían las vacas.

3.8.1 Determinación de consumo de materia seca en pastoreo y a corral.

Para relacionar las emisiones de CH₄ con la ingesta de alimento y calcular los factores propios de emisión de CH₄ se midió el CMS individual en pastoreo, (primavera, verano) y durante el período de engorde a corral. Durante la recría en pastoreo, se determinó el CMS en primavera desde 03/09/2015 hasta 18/09/2015 y en verano desde 07/11/2015 hasta 22/11/2015.

El CMS de los animales en pastoreo se estimó mediante la relación entre la producción fecal y la DMS (Le Du y Penning, 1982):

$$\text{Consumo de MS} = \left(\frac{\text{Producción fecal}}{100 - \text{DMS}} \right) \times 100$$

La producción fecal se cuantificó utilizando el óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador externo, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Producción fecal} = \frac{\text{g Cr}_2\text{O}_3 \times \text{Recuperación (\%)}}{\text{Concentración Cr}_2\text{O}_3 \text{ en heces / g heces}}$$

Se suministraron 10 g de Cr_2O_3 una vez por día durante 16 d a las 8:00 h. El marcador se suministró en un bolo de papel depositado en el extremo caudal de la cavidad bucal, y fue deglutido voluntariamente por el animal. Se asumió un porcentaje de recuperación del 90% de acuerdo con Phar *et al.* (1970). Los primeros 6 d fueron de acostumbramiento, en tanto que los últimos 10 d se recolectaron muestras de heces directamente del recto de cada animal. Cada día se rotularon las muestras según fecha e identificación del novillo y se congelaron a -18°C . Luego, las muestras fueron descongeladas a temperatura ambiente y se realizó un *pool* con las heces frescas por animal, el cual se secó hasta peso constante en estufa de circulación forzada de aire a 60°C . Posteriormente cada muestra fue molida a un tamaño de partícula de 1 mm, mediante un molino Wiley, y se fraccionaron en dos partes iguales. Una parte fue enviada al laboratorio de química inorgánica de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) para determinar la concentración de Cr_2O_3 (Czarnocki *et al.*, 1961). La otra parte se utilizó para evaluar el contenido de MS indigestible. Para esto último se colocaron 5 g MS de heces en bolsitas de dacrón (ANKOM1020) de 10×20 cm. Luego se incubaron en el rumen de un novillo fistulado durante un periodo de 210 horas. En el mismo momento se incubaron 5 g MS de las muestras de pasturas que consumieron los animales en los periodos de muestreo de materia fecal. Las muestras de pasturas fueron previamente secadas a 60°C y molidas a 1 mm. Se incubaron 3 repeticiones por cada animal y muestra de forraje. También se incubaron en el rumen, en el mismo periodo, 6 bolsitas vacías como blanco para calcular los residuos adheridos post lavado. Las bolsas luego de extraídas, se enjuagaron con agua corriente para quitar los restos de contenido ruminal y se lavaron en un lavarropas vertical hasta la obtención de agua limpia. Luego, se escurrieron y se secaron en estufa de circulación forzada de aire a 55°C hasta peso constante y se pesaron para determinar

el contenido de MS indigestible (MSi). La DIVMS se calculó utilizando al %MSi como marcador interno (Batista Sampaio *et al.*, 2011), según la siguiente fórmula (Fahey 1994):

$$DIVMS = \left(1 - \left(\frac{\% \text{MSi Forraje}}{\% \text{MSi Heces}} \right) \times 100 \right)$$

La determinación del CMS en el corral se realizó en el mismo período de medición de CH₄. Los novillos fueron alojados en corrales individuales de 55 m², con acceso a un comedero plástico individual de 1 m lineal y a bebederos individuales durante 14 d. A cada animal se le ofreció el alimento a voluntad de manera que existiera un rechazo al menos del 10% de alimento tal cual con respecto al día anterior. Previo al suministro, el alimento entregado se pesó mediante una balanza digital en fresco. El rechazo diario de alimento de cada animal se recolectó a mano y se pesó tal cual en una bolsa plástica entre las 8:00 y 8:30 am. Cada día se tomó una muestra individual de aproximadamente 300 g para calcular el % de MS del alimento ofrecido y rechazado. El CMS se determinó como la diferencia en kg de MS entre la oferta y el rechazo por día de cada animal individual.

3.8.2 Estimación de requerimientos energéticos

3.8.2.1 Requerimientos energéticos en vacas

Para estimar los requerimientos nutricionales se utilizaron las ecuaciones predictivas del (NRC, 2000) y en función de los requerimientos individuales se estimó el CMS necesarios para satisfacer las demandas energéticas.

Para el cálculo de los requerimientos energéticos totales (Req Total) el modelo utilizado fue el siguiente:

$$\text{Req Total (Mcal EM/d)} = \text{Mantenimiento} + \text{Gestación} + \text{Lactancia} + \text{Cambio de PV}$$

3.8.2.1.1 Requerimiento energético de Mantenimiento

Se calculó mensualmente en base al PV de las vacas, y de los momentos de gestación y lactancia. A partir de la variación de PV se infirió cuando las vacas estaban recuperando o utilizando las reservas corporales.

El requerimiento energético para mantenimiento (Req M) se calculó a partir de la producción de calor en ayuno (PCA), la eficiencia de utilización de la EM (km) y el costo de la actividad en pastoreo, según la siguiente fórmula:

$$\text{Req M (Mcal EM/d)} = \left(\frac{\text{PCA}}{\text{km}} \right) + \text{Actividad}$$

$$\text{Producción de calor (PCA)} = \text{PVC}^{0,75} * [(\text{MA} * \text{L} * \text{NP}) + \text{EC}]$$

Dónde:

Peso vacío corregido (PVC) = peso corregido por preñez x 0,8 (Di Marco, 2006)

Metabolismo de ayuno (MA) = 0,077Mcal/kgPVC^{0,75} (NRC, 2000)

Lactancia (L) = 0,2 * MA (NRC, 2000)

Nutrición previa (NP) = 0,8 + [(CC - 1) * 0,05]

Para estimar la CC (condición corporal) se asumió que el peso al destete representaba una CC = 5 y por lo tanto la misma no tenía efecto sobre el Req M. Cuando se observó una variación del PV con respecto al peso de destete se corrigió la CC adaptando la escala según Tyrrell (2014) de la siguiente manera:

CC = 6: Cuando el PV fue un 8% mayor que el peso al destete

CC = 4: Cuando el PV estuvo en un rango de 87-93% del peso al destete

CC = 3: Cuando el PV estuvo en un rango de 81-87% del peso al destete

CC = 2: Cuando el PV fue menor al 81% del peso al destete.

Efecto del clima (EC; Mcal/d) = 0,0007 * (20 - TP; NRC, 2000)

Dónde: TP es la temperatura promedio. Se utilizó el dato de temperatura promedio mensual durante el período evaluado de la estación meteorológica de la EEA Balcarce.

Eficiencia de mantenimiento (km; %) =
 $-0,0079 * \text{DMS}^2 + 1,49 * \text{DMS} + 0,3714$ (NRC, 2000).

Los requerimientos energéticos por Actividad fueron considerados como el incremento del Req M por el efecto de caminar y cosechar el forraje de animales que se encuentran en pastoreo. Se expresa en % del MA. Según experiencias realizadas en Balcarce se estima que el costo de actividad puede variar de un 8 a un 30% según la disponibilidad de la pastura. El mayor gasto de energía ocurre ante una menor disponibilidad forrajera. En el presente trabajo se asumió que la época de menor disponibilidad de pasturas (verano e invierno) el incremento de los requerimientos por la actividad del pastoreo fue del 20%, en tanto que en la época de mayor disponibilidad de pasturas (otoño y primavera) se asumió un incremento del 15% (Di Marco y Aello, 2001).

3.8.2.1.2 Requerimiento energético de Gestación

Los cálculos de requerimientos energéticos de gestación (Req G) se calculó mediante la siguiente ecuación (NRC, 2000), la cual asume una eficiencia de utilización de la EM de 13%.

$$\text{Req G (Mcal EM/d)} = \text{PN} * (0,4504 - 0,000766 * t) * e^{((0,03233 - 0,0000275 * t) * t)}$$

Donde:

PN = el peso del ternero al nacimiento.

t = d de gestación.

3.8.2.1.3 Requerimiento energético de Lactancia

El requerimiento energético para la lactancia (Req L) se calculó en base a la producción de leche, la energía retenida en la leche, y la eficiencia de utilización de la EM (NRC, 2000). Se asumió que toda la leche producida por la madre fue consumida por el ternero. Se estimó la producción diaria de leche (PDL) de cada vaca a través de la siguiente ecuación:

$$\text{PDL (kg/d)} = \frac{\left(\frac{a}{7}\right)}{\left(a * e^{\left(k * \left(\frac{a}{7}\right)\right)}\right)}$$

Donde a y k son tasas constantes cuyos valores (0,3911 y 0,1176, respectivamente) surgen de considerar que el pico de producción de leche es de 8 kg/d (NRC, 2000) y n es el día de lactancia.

La energía retenida en la leche (ERL) se calculó considerando su composición y sus respectivos valores calóricos. Se asumió que la leche contiene 4% de grasa, 3,4% de proteína y 4,6% de lactosa (NRC, 2000). Los valores calóricos utilizados fueron 4, 5,6 y 9,4 kcal/g de lactosa, proteína y grasa, respectivamente. Esto resultó en un valor de ERL 0,75 Mcal/kg de leche.

Para el cálculo de la EM requerida para la lactancia se utilizó la ecuación:

$$\text{Req L (Mcal EM/d)} = \frac{\text{ERL}}{\text{Eficiencia EM (kl)}} * \text{PDL}$$

Se consideró que la eficiencia de utilización de la EM en lactancia fue la misma que para el mantenimiento (punto 3.8.2.1.1; NRC, 2000).

3.8.2.1.4 Requerimiento energético de cambio de peso

Para el requerimiento energético de cambio de peso (Req CP) se consideró que la energía retenida que obtiene o requiere para la variación de un kg de PV fue de 5,82 Mcal. Cuando el animal perdía peso la eficiencia de utilización de la energía retenida era de 80%, por lo cual por cada kg de pérdida de PV el animal obtiene 4,66 Mcal EM (NRC, 2000). En tanto que para el Req CP cuando se recuperaba el PV se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Req CP (Mcal EM/kgPV)} = \frac{\text{ER}}{\text{Eficiencia EM}} \text{ (NRC, 2000)}$$

La eficiencia del uso de la EM utilizada en el Req CP se consideró un 95% de la eficiencia de mantenimiento (Fox *et al.*, 1988).

3.8.2.2 Requerimiento energético de animales en crecimiento

Para el cálculo de los requerimientos energéticos totales (Req Total) de animales en crecimiento y engorde el modelo utilizado fue el siguiente:

$$\text{Req Total (Mcal EM/d)} = \text{Mantenimiento} + \text{Ganancia de Peso}$$

3.8.2.2.1 Requerimiento energético de Mantenimiento

Para el cálculo del requerimiento energético de mantenimiento (Req M) se consideró la producción de calor en ayuno (PCA), la eficiencia de utilización de la EM (km) y el costo de actividad en pastoreo o corral.

$$\text{Req M (Mcal EM/d)} = \left(\frac{\text{PCA}}{\text{km}} \right) + \text{Actividad}$$

La PCA se estimó mediante la siguiente formula:

$$\text{PCA (Mcal EM/d)} = \text{PVC}^{0,75} * (\text{MA} + \text{EC}); \text{NRC, 2000}$$

Donde el peso vacío corregido (PVC) se calculó en base al peso vivo (PV) y se asumieron valores de llenado a partir de datos de Roy (1970) y Lyford (1993). Los valores de llenado fueron:

$$\text{Durante los primeros 60 d de vida. PVC (kg)} = \text{PV} * 0,94$$

$$\text{Desde los 60 a 120 d de vida. PVC (kg)} = \text{PV} * 0,89$$

$$\text{Desde el día 121 en adelante. PVC (kg)} = \text{PV} * 0,80$$

El metabolismo de ayuno (MA) se utilizó el valor de 0,77 Mcal/PVC^{0,75} (NRC, 2000) y el efecto del clima (EC) se calculó de la misma manera que en el punto 3.8.2.1.1.

El costo de actividad (ver 3.8.2.1.1) se consideró a partir del día 121 de vida (Roy, 1970). La eficiencia de uso de la energía para gastos de mantenimiento se calculó a partir de la ecuación sugerida por NRC (2000):

$$\text{Eficiencia de mantenimiento (km)} = -0,0079 * \text{DMS}^2 + 1,49 * \text{DMS} + 0,3714$$

3.8.2.2.2 Requerimiento energético de aumento de peso

El requerimiento de energía para el ADPV (Req AP) se calculó como:

$$\text{Req AP (Mcal EM/día)} = \frac{\text{ENGP}}{\text{Eficiencia EM}}$$

Donde ENGP es la energía neta retenida en la ganancia de peso y se calculó de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{ENGP (Mcal EM/día)} = 0,0635 * \text{PVC}^{0,75} * \text{ADPVv}^{1,097} \text{ (NRC, 2000)}$$

Siendo ADPVv el aumento diario de PV vacío (kg/día)

La eficiencia de uso de EM (%) para ganancia de peso se calculó según NRC (2000):

$$\text{Eficiencia EM} = -0,015 * \text{DMS}^2 + 2,71 * \text{DMS} - 73,6$$

Donde:

DMS = digestibilidad de la materia seca.

En terneros que se encontraban al pie de la madre se utilizaron los valores de eficiencia de utilización de EM sugeridos por el ARC (1980), donde la eficiencia del uso de la energía para mantenimiento es del 80% hasta la semana 10 de vida y luego del 75% hasta el destete. En tanto que la eficiencia para la ganancia de peso es del 70% hasta la semana 10 de vida y luego del 55% hasta el destete.

3.9 Medición de la producción de metano entérico

La producción diaria de CH₄ (g/animal) se determinó en novillos durante la recría pastoril y terminación a corral. Para evaluar el efecto del tipo de destete y el período de medición sobre las emisiones de CH₄ se utilizaron 9 novillos de cada tratamiento de destete y se realizaron 3 mediciones de CH₄. 1) A principios de Noviembre (Primavera) con pasturas de 78,4% DMS. 2) Mediados de Diciembre (Verano) con pasturas de 67,9% DMS. 3) A principios de Marzo, durante el engorde a corral con una dieta de 75,9% DMS. Durante las mediciones a pastoreo se manejaron los 18 novillos bajo igualdad de condiciones de manejo (ver punto 3.4). Durante el período de medición de CH₄ en el engorde a corral cada novillo fue alojado de manera individual en el mismo corral que el descrito para la determinación de CMS.

Las determinaciones de CH₄ se realizaron utilizando la técnica del gas marcador hexafluoruro de azufre (SF₆) propuesta por Johnson *et al.* (1994) y modificada en la Argentina por Gere y Gratton (2010). El período de acostumbramiento de los animales a los equipos de muestreo fue de 30 d previos a la medición de CH₄. El acostumbramiento consistió en la colocación de un bozal regulable y una manguera de plástico flexible de 5 cm de diámetro y 80 cm de largo. Esta manguera fue sujeta alrededor del cuello del

animal a los fines de simular el equipo de medición. El gas marcador SF₆ fue dosificado 1 sola vez mediante una capsula de lenta liberación conocida, colocada directamente en el rumen de cada animal mediante una sonda esofágica 70 d previos al primer muestreo. Las capsulas tuvieron un período de duración de 1 año. La tasa liberación promedio de las capsulas fue de 5,74 ± 0,98 mg SF₆/d.

Durante cada período de medición de CH₄, 2 tubos de acero inoxidable de 500 cm³ fueron colocados sobre cada animal en un arnés de lona alrededor del cuello sujetado al bozal. Cada tubo, previamente evacuado en el laboratorio del Instituto de Física Arroyo Seco, de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (IFAS-UNCPBA), fue conectado a un restrictor de ingreso de aire mediante una manguera plástica de 4 mm de diámetro y un acople rápido. Los restrictores de ingreso de aire fueron precintados al bozal en la proximidad de cada orificio nasal del animal. Los tubos permanecieron colocados durante 5 d los cuales capturaron una muestra del gas SF₆ y CH₄ que se liberan juntos en la expiración. También se utilizó un tubo colector con su respectivo regulador de ingreso del aire como un testigo para medir la concentración de los gases en el ambiente. El tubo testigo fue sujeto a un poste ubicado en la proximidad donde se realizó cada ensayo.

Las muestras de gases de cada animal contenidas dentro de los tubos de acero inoxidable, fueron enviadas al IFAS-UNCPBA, donde se analizó la concentración de CH₄ y de SF₆ mediante cromatografía gaseosa (GC Agilent 7890A). El cromatógrafo está equipado con un detector FID (detector de ionización de llama) que genera el espectro lumínico de los gases cuando se queman y una columna de 1.8-m Poropak Q (80/100 de malla) que permite que los hidrocarburos gaseosos de distintos tamaños se separen entre sí. La temperatura del horno, del inyector y del detector fue de 50 °C, 250 °C y 250 °C respectivamente. El flujo del gas carrier (He) fue de 30 ml/min. La emisión de CH₄ se calculó a partir de la siguiente fórmula propuesta por Lassey *et al.* (1997).

$$\text{CH}_4 \text{ (g/d)} = \text{TL SF}_6 \text{ (mg/d)} \times \frac{(\text{CH}_4 \text{ M} - \text{CH}_4 \text{ A})}{(\text{SF}_6 \text{ M} - \text{SF}_6 \text{ A})} \times \frac{\text{Peso molecular CH}_4}{\text{Peso molecular SF}_6} \times 1000$$

Donde:

TL SF₆: tasa de liberación de SF₆ (mg/d)

CH₄ M: concentración CH₄ (ppm) en la muestra del animal

CH₄ A: concentración CH₄ (ppm) en la muestra del ambiente

SF₆ M: concentración de SF₆ (ppt) en la muestra del animal

SF₆ A: concentración de SF₆ (ppt) en la muestra del ambiente

Para los animales de recría y engorde se calculó el factor de emisión de CH₄, (Y_m) como la proporción de la energía consumida que es utilizada para la producción de CH₄, según la siguiente formula, (IPCC, 2006):

$$Y_m (\%) = \left(\frac{EBCH_4}{EBC} \right) * 100$$

Donde:

EBCH₄: energía (Mcal/d) empleada por día en la producción de CH₄

EBC: es el total de energía bruta consumida (Mcal/d).

Para ello se asumió que la energía bruta del alimento consumido fue de 4,4 Mcal/kgMS y la energía del CH₄ fue 13,29 Mcal/kg.

3.10 Estimación de la producción de metano entérico a nivel de sistema

Para estimar la producción de CH₄ a nivel de sistema, se simularon 2 rodeos con los datos reales de PV, días de lactancia y gestación obtenidos desde Octubre 2014 hasta Marzo 2016, uno con la aplicación de DHP y otro con DT. Ambos rodeos estuvieron compuestos por 3 toros y 100 vientres, de los cuales el 60% eran vacas multíparas, 20% vacas de primer parto, y 20% vaquillonas de reposición. Se asumió una tasa de destete de 87% según el promedio reportado de los últimos 3 años de la Reserva 6 (Menchón 2017. com per.), y una tasa de mortandad de terneros del 2%.

En función de la tasa de destete y el % de reposición de vaquillonas se asumió que el subsistema invernada estuvo compuesto por 65 novillos de invernada, y comprendió un período de 373 días, con 307 días de recría pastoril y 66 días de engorde a corral, momento en que se enviaron a faena. Los rodeos simulados no tuvieron repeticiones, por lo tanto no se realizó una comparación de medias estadísticas, lo cual es una

característica en la evaluación de sistemas productivos, donde se abarca una gran escala de tiempo (Romera *et al.*, 2008).

El total de emisiones de CH₄ del subsistema cría se calculó a partir del CMS estimado mensual de cada categoría (Punto 3.8.1), la energía bruta consumida (CMS x 4,4 Mcal/kgMS) y se asumió la producción de CH₄ entérico como un 6,5% del total de la energía bruta consumida (IPCC, 2006). La intensidad de emisiones del subsistema cría (g CH₄/kg ternero) se calculó como la sumatoria de emisiones de CH₄ entérico de todas las categorías del sistema de cría sobre el total de kg de ternero producido. Para calcular el total de kilogramos de ternero producido, se consideró el PV promedio de los terneros de cada tratamiento hasta los 205 d de vida.

En el caso del subsistema invernada, se calcularon 2 indicadores de intensidad de emisiones de CH₄ (gCH₄/kg novillo). Para calcular el primer indicador (g CH₄ estimado/kg novillo), se estimó la producción diaria de CH₄ (g/animal) desde el destete (205 d) hasta la faena (578 d). Para ello se estimó el consumo de energía bruta y se asumió el factor Y_m de 6,5% (IPCC, 2006). Dado que las dietas utilizadas tuvieron menos del 90% de concentrados, se utilizó dicho factor tanto para la recría y engorde. Para calcular el segundo indicador (g CH₄ medido/kg novillo) se utilizaron los valores medidos de producción diaria de CH₄ y para completar el ciclo productivo se estimó (similar al indicador g CH₄ estimado/kg novillo) la producción de CH₄ en los períodos que no se midió. En ambos casos se utilizó el mismo denominador que fue el total de kg producidos en la recría y engorde, obtenido como la diferencia entre el peso de faena y el peso a los 205 días de vida promedio de cada tratamiento.

La intensidad de emisiones de CH₄ del ciclo completo se calculó como la relación entre la suma de las emisiones totales de CH₄ de la fase de cría e invernada en base al total de kg de carne producidos. El total de kg de carne producido se obtuvo como la sumatoria de los kg de carne de los novillos y las vacas de descarte. En el caso de los novillos se consideró para el cálculo el promedio del peso de la res caliente de cada tratamiento obtenido en el frigorífico. En el caso del aporte de los kg de carne de las vacas en el sistema se asumió la venta de un 10% de vacas descarte en el mes de Marzo con el peso promedio correspondiente a cada tratamiento y un rendimiento al gancho del 50% con respecto al peso vivo de campo.

3.11 Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar el, CMS, CH₄ (g/animal/día) medio anual de vacas y terneros, y el intervalo entre partos de las vacas, se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado y se consideró al animal individual como unidad experimental. Se utilizó el siguiente modelo estadístico:

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

Donde:

Y_{ik} : observación correspondiente al i-ésimo tratamiento, en el j-ésimo animal.

μ : media general del ensayo.

T_i : efecto del i-ésimo tratamiento (i = DHP ó DT)

e_{ij} : error aleatorio correspondiente al i-ésimo tratamiento, en el j-ésimo animal ($j = 1-16$)

Para el análisis de los resultados de CH₄, y su relación con el CMS, ADPV y PV se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 2 × 3: el factor destete con dos niveles (DHP, DT) y el factor período con tres niveles (Primavera, Verano, Corral). El modelo estadístico empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : observación para el i-ésimo tratamiento, el j-ésimo periodo de medición y el k-ésimo animal.

μ : media general

T_i : efecto i-ésimo tratamiento (i=DHP, DT)

β_j : efecto del período de medición (j=Primavera, Verano, Corral)

$(T\beta)_{ij}$: efecto de la interacción entre destete y período de medición.

e_{ijk} : error aleatorio correspondiente al i -ésimo destete, en la j -ésima período de medición en el k -ésimo animal

Las variables PV, ADPV (calculado por regresión lineal), de las vacas y novillos y el EGD, AOB de novillos se analizaron como medidas repetidas en tiempo mediante el paquete LSMEANS. El modelo estadístico empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \alpha_{k(i)} + \beta_j + (T\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : variable observada

μ : media general

T : efecto del tratamiento (i =DHP,DT)

$\alpha_{k(i)}$: efecto del ternero k en el i esimo tratamiento

β_j : efecto j ésimo período de medición

$(T\beta)_{ij}$: efecto de interacción dado por la combinación del i ésimo tratamiento con el j ésimo período.

E_{ijk} : Error aleatorio correspondiente al i -ésimo tratamiento, en el j ésimo período de medición en el k -ésimo animal.

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el paquete "R commander" del programa estadístico R core team (2013). Para el estudio de todas las variables se corroboraron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza mediante el test de Shapiro Wilk y Levene, respectivamente. Las medias de las variables analizadas se compararon mediante el test de Tukey y se consideraron diferencias estadísticamente significativas cuando la probabilidad de error tipo 2 fue menor o igual al 5% ($P \leq 0,05$) y como tendencia cuando la probabilidad de error estuvo entre 5 y 10% ($0,05 > P < 0,10$).

4 RESULTADOS

4.1 Composición química de la oferta forrajera

En Tabla 2 se observa la composición química del forraje ofrecido durante el ensayo de recría y terminación expresada como porcentaje de materia seca.

Tabla 2. Composición química de los alimentos ofrecidos durante la recría pastoril y engorde a corral.

Variable, %	Pastura				Corral
	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	
MS	17,8	31,0	24,1	30,8	74,9
MO	88,1	87,6	86,3	89,6	94,4
DMS	74,3	64,3	78,4	67,9	75,9
PB	27,5	13,9	14,4	11,5	11,6
FDN	41,4	51,3	47,3	50,8	25,3
FDA	21,6	24,5	23,0	26,1	12,1
LIG	3,2	2,2	2,1	2,6	s/d
EE	s/d	s/d	s/d	s/d	4,6
Almidón	s/d	s/d	s/d	s/d	42,5

MS: materia seca; MO: materia orgánica; DMS: digestibilidad de materia seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácida; LIG: lignina; EE: extracto etéreo; s/d: sin dato.

La calidad de los alimentos utilizados en la etapa de cría se encuentra descrita en la Tabla 1.

4.2 Evolución del peso vivo de las vacas e intervalo entre partos

En Figura 2 se observan los resultados de la evolución del PV de las vacas desde el mes de Octubre del 2014 hasta el mes de Septiembre 2015. Desde Octubre hasta Diciembre de 2014 no hubo diferencias significativas de PV ($P \geq 0,10$) entre vacas DHP y DT. Durante los meses de Enero y Febrero el PV tendió a ser mayor ($0,05 > P < 0,10$) en vacas DHP con respecto a las vacas DT. El ADPV en el período comprendido desde los 49 a los 205 días posparto fue de $0,45 \pm 0,14$ y $0,23 \pm 0,14$ kg/día (Media \pm DE) para las vacas de DHP y DT, respectivamente ($P < 0,01$). Debido a esto, en el mes de Marzo a los

205 d posparto, las vacas de DHP presentaron un PV mayor ($P \leq 0,05$) que las vacas de DT. Esta diferencia de PV se mantuvo hasta finalizar el período evaluado ($P \leq 0,05$).

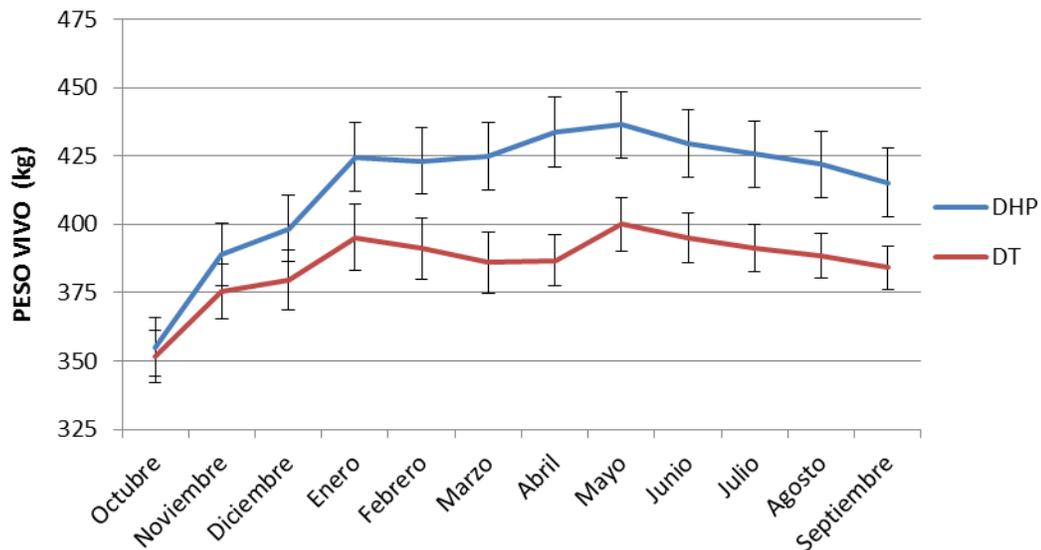


Figura 2. Promedio y error estándar del peso vivo mensual de las vacas destetadas anticipadamente (DHP; $n=16$) y destetadas tradicionalmente (DT; $n=16$).

En cuanto al intervalo entre partos (2014 - 2015) se observó una diferencia significativa entre tratamientos ($P \leq 0,05$). Las vacas de DHP tuvieron un intervalo de 12 d menos que las vacas de DT (370 ± 12 vs. 382 ± 15 d, respectivamente).

4.3 Evolución del peso vivo de los terneros y novillos

La evolución del PV de los terneros fue positiva durante todo el período evaluado (Figura 3). El PV al destete (205 d) no presentó diferencias ($P = 0,17$) entre los tratamientos de DT y DHP mientras los terneros consumían leche y pasto ó concentrado, respectivamente. Sin embargo, a la mitad del período de recría pastoril (d 361) el PV de los novillos de DT fue 25,1 kg mayor ($P < 0,01$) que los novillos de DHP. En el mismo sentido, al finalizar el período de pastoreo (d 512) el PV de los novillos de DT fue 29,1 kg mayor ($P < 0,01$) que los novillos de DHP. Esta diferencia se mantuvo hasta finalizar el período de engorde a corral donde el PV de los novillos DT fue 25,8 kg mayor ($P < 0,01$) que los novillos DHP.

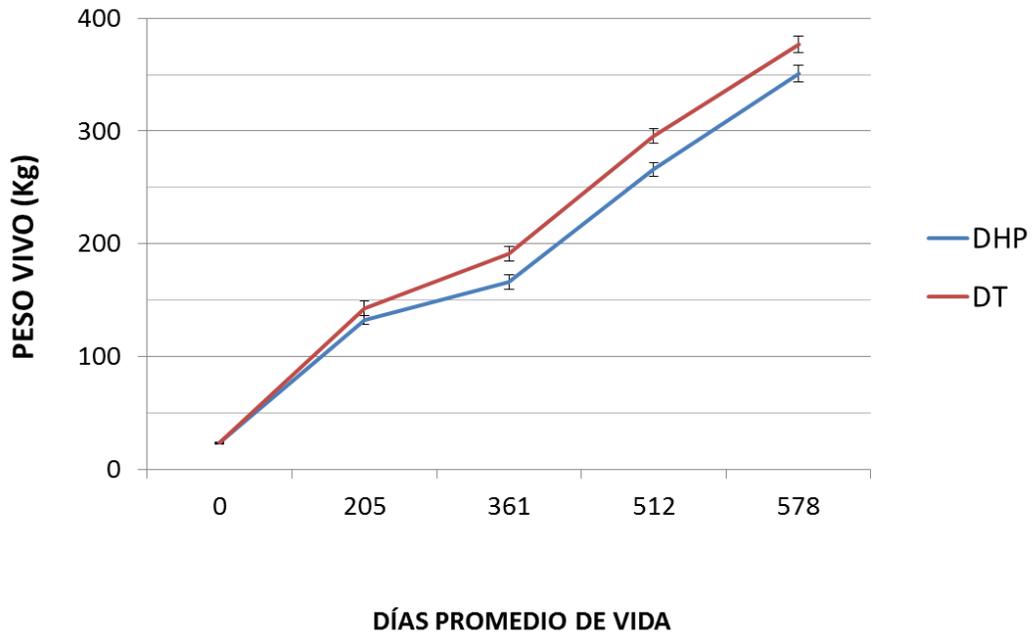


Figura 3. Promedio y error estándar del peso vivo de terneros de destete hiperprecoz (DHP; $n=16$) y destete tradicional (DT; $n=16$) desde el nacimiento (día 0) hasta la faena (día 578).

No se observaron diferencias significativas en ADPV entre terneros de DT y DHP en el período comprendido desde el parto hasta la fecha del DT ($P = 0,16$). Sin embargo, desde la fecha del DT (206 d de vida de edad) hasta los 260 d, el ADPV fue 70% menor en el tratamiento DHP con respecto al DT ($P < 0,01$; Figura 4). Luego no se observaron diferencias significativas ($P = 0,80$) entre tratamientos desde los 261 d de vida hasta el final de la recría pastoril (d 510). En líneas generales durante la etapa de recría, el ADPV promedio de ambos tratamientos ($n = 32$) fue de 0,27 kg/animal en otoño-invierno, mientras que durante la primavera-verano fue de 0,58 kg/animal ($P < 0,01$). En cambio durante el engorde a corral el ADPV promedio de ambos tratamientos fue de 1,24 kg/animal, donde el ADPV de los novillos DHP tendió ($P = 0,09$) a ser mayor con respecto a los novillos de DT.

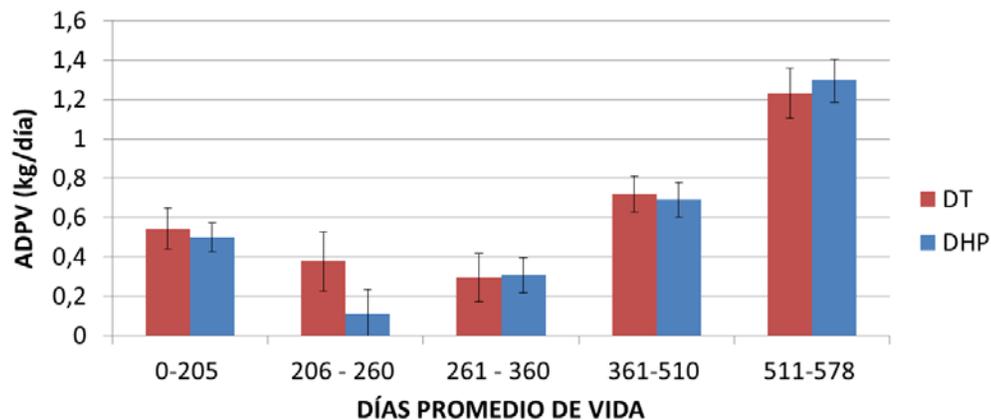


Figura 4. Aumento diario de peso vivo (ADPV) en terneros de destete hiperprecoz (DHP) y destete tradicional (DT) desde el nacimiento (Día 0) hasta la faena (Día 578).

4.4 Espesor de grasa dorsal, área ojo de bife y rendimiento de res

Al inicio del pastoreo (d 205) el EGD tendió a ser mayor en los terneros DT con respecto a los DHP ($P = 0,06$). Sin embargo, no existieron diferencias entre tratamientos en EGD al finalizar el período de pastoreo ($P = 0,47$) y engorde a corral ($P = 0,71$; Tabla 3). El AOB fue un 19,9% mayor ($P < 0,01$) en los terneros DT con respecto a los DHP al inicio del pastoreo y tendió a ser mayor al final del pastoreo ($P = 0,06$). En tanto que al finalizar el período de engorde a corral el AOB fue similar entre los tratamientos ($P = 0,13$). No se encontraron diferencias entre los tratamientos en tasa de incremento del EGD ni del AOB durante el período de recría pastoril y engorde a corral ($P > 0,1$). El peso de la res caliente fue 8,7% mayor ($P = 0,01$) en los novillos DT con respecto a DHP. El rendimiento de res tendió a ser mayor ($P = 0,09$) en DT que en DHP (Tabla 3).

Tabla 3. Media \pm desvío estándar de espesor de grasa dorsal (EGD), área ojo de bife (AOB), tasa de incremento de AOB y EGD, % de rendimiento de res de novillos de destete hiperprecoz (DHP) y destete tradicional (DT).

	DHP	DT	P Valor
EGD, mm			
Inicio pastoreo	2,1 \pm 0,4	2,5 \pm 0,6	0,06
Fin de pastoreo	3,6 \pm 0,8	3,8 \pm 0,7	0,47
Fin de corral	6,9 \pm 1,8	7,0 \pm 1,0	0,71
AOB, cm²			
Inicio pastoreo	23,3 \pm 3,5	29,1 \pm 5,2	<0,01
Fin de pastoreo	46,6 \pm 5,4	50,0 \pm 4,2	0,06
Fin de corral	55,9 \pm 7,1	59,6 \pm 6,6	0,13

Incremento EGD, mm/mes			
En pastoreo	0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,40
En corral	1,5 ± 0,6	1,5 ± 0,5	0,99
Incremento AOB, cm²/mes			
En pastoreo	2,3 ± 0,5	2,2 ± 0,3	0,32
En corral	4,3 ± 2,0	4,4 ± 2,0	0,84
Peso res caliente, kg	188,6 ± 17,9	206,0 ± 17,9	0,01
Rendimiento de res, %	53,6 ± 0,2	54,6 ± 0,2	0,09

4.5 Consumo de materia seca y emisión de metano entérico estimado

4.5.1 Vacas

El CMS estimado desde Octubre a Marzo fue mayor ($P < 0,01$) en vacas de DT ($8,8 \pm 0,6$ kg MS/d) respecto a las vacas que fueron destetadas de manera anticipada (DHP; $6,0 \pm 0,6$ kg MS/d). Sin embargo, esta diferencia no se mantuvo a partir de Marzo hasta Septiembre, donde el CMS tendió a ser mayor ($P = 0,07$) en vacas de DHP ($6,2 \pm 0,5$ kg MS/d) respecto a DT ($6,0 \pm 0,4$ kg MS/d). En todo el período se observó un mayor CMS y producción de CH_4 de las vacas DT con respecto a las DHP ($P < 0,01$; Tabla 4).

Tabla 4. Medias de peso vivo (PV), consumo de materia seca (CMS) y producción de metano entérico (CH_4) durante el período Octubre 2014 – Septiembre 2015, de vacas multíparas con destete hiperprecoz (DHP) y destete tradicional (DT).

	DHP	DT	EE	P valor
PV, kg	414	386	2,5	<0,01
CMS, kg MS/día	6,1	7,3	0,09	<0,01
CH₄, g/día	128,6	158,7	2,05	<0,01

EE= error estándar de la media

4.5.2 Terneros

En función del PV, el ADPV y la calidad del alimento, los resultados indican que los requerimientos energéticos de los terneros al pie de la madre (DT) fueron cubiertos por la producción de leche estimada de las vacas desde el nacimiento hasta el mes de Octubre. A partir de este mes y hasta los 205 d de edad promedio del ternero (Marzo) los requerimientos energéticos promedio de los terneros DT (desde Octubre a Marzo) fueron

cubiertos en un 64% por la energía de la leche materna, el resto fue cubierto por el consumo de pastura de 2,3 Mcal/kg MS.

Entre los meses de Octubre 2014 a Marzo 2015, correspondiente al período en que los terneros se encontraban en el corral de crianza o al pie de la madre (DHP y DT, respectivamente), los terneros de DHP presentaron un mayor CMS ($P < 0,01$) y mayor emisión diaria de CH_4 ($P < 0,01$) con respecto a los terneros de DT (Tabla 5).

Tabla 5. Medias de peso vivo (PV), consumo de materia seca (CMS) y emisión de metano entérico (CH_4), de terneros de destete tradicional (DT) y destete hiperprecoz (DHP) desde los 53 hasta los 205 días de vida.

	DHP	DT	EE	P valor
PV, kg	93	101	2,5	0,11
CMS, kg MS/d	2,0	1,0	0,06	<0,01
CH₄, g/d	43,2	19,9	1,44	<0,01

EE= error estándar de la media

Durante la etapa de recría pastoril, el CMS estimado de novillos de DHP fue menor que los DT ($P \leq 0,05$), tanto en la primera ($2,2 \pm 0,2$ vs. $2,5 \pm 0,3$ kg MS/d, respectivamente; $P < 0,05$) como en la segunda mitad de la recría ($3,6 \pm 0,3$ vs. $4,0 \pm 0,3$ kg MS/d, respectivamente; $P < 0,05$). Sin embargo, no hubo diferencias significativas ($P > 0,2$) entre tratamientos en el CMS durante el periodo de engorde a corral ($6,8 \pm 1,0$ y $6,5 \pm 0,8$ kg MS/d respectivamente). En promedio, considerando todo el período de invernada, el CMS desde los 205 d hasta la faena (578 d) fue menor ($P \leq 0,05$) en novillos de DHP que DT ($4,5 \pm 0,4$ y $5,0 \pm 0,5$ kg MS/d, respectivamente).

Durante los períodos de medición del CMS a campo, se observó que el CMS medido fue 4,2, 2,6 y 4,9 kg MS/animal/d mayor que el CMS estimado en primavera, verano y corral, respectivamente ($P < 0,01$; Figura 5).

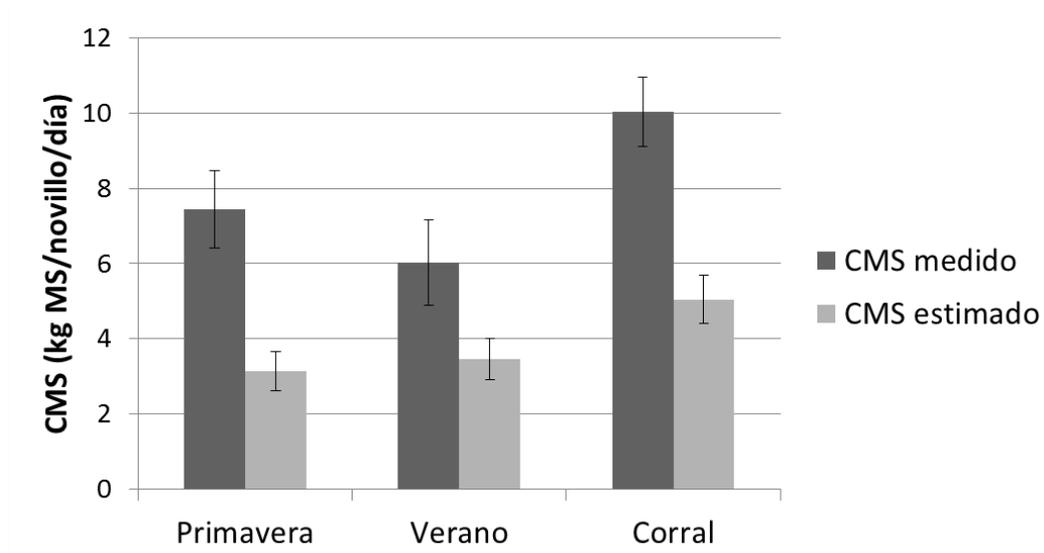


Figura 5. Consumo de materia seca (CMS) individual de novillos de recría ($n = 32$ promedio de ambos tratamientos) medido y estimado durante los períodos de medición de CMS en la primavera, verano y engorde a corral.

4.6 Emisión de metano entérico medido de novillos durante la recría pastoril y engorde a corral

No se encontró efecto significativo de la interacción entre los períodos de medición y el tratamiento de destete ($P > 0,05$), ni efecto del tratamiento de destete ($P > 0,05$) para las variables CMS, producción diaria de CH_4 (g/día), ni CH_4 en relación al CMS, PV, ADPV y como proporción de la energía bruta consumida (Y_m ; Tabla 6). El período de medición afectó ($P < 0,05$) todas las variables analizadas. La producción diaria de CH_4 fue 65 g/animal mayor ($P < 0,01$) en Verano que durante el período de engorde a corral; mientras que la producción en Primavera fue intermedia, no difiriendo de las anteriores ($P < 0,10$). Al expresar la producción diaria de CH_4 en función del CMS, ésta variable fue mayor ($P < 0,05$) en Verano que en el periodo de engorde a corral e intermedia en Primavera ($P < 0,05$) (Tabla 6). La producción diaria de CH_4 en función del PV en Primavera no difiere ($P > 0,1$) del Verano, siendo ambas mayores ($P < 0,05$) a la obtenida en el periodo de engorde a corral (Tabla 6). Al expresar la producción diaria de CH_4 en función del ADPV, es similar ($P > 0,1$) entre Primavera y Corral pero ambas menores ($P < 0,05$) que en el Verano (Tabla 6).

Tabla 6. Efecto del tipo de destete y el período de alimentación sobre el peso vivo (PV), consumo de materia seca (CMS) y producción de metano entérico (CH₄) de novillos.

	Periodo de medición (PM)			Destete (DTT)		EE	P valor		
	Primavera n=12	Verano n=16	Corral n=16	DHP n=22	DT n=22		PM	DTT	PM x DTT
PV, kg*	246 ^a	271,8 ^a	341,1 ^b	272,6	300	6,9	<0,01	<0,01	0,99
CMS, kg MS/d*	7,2 ^b	5,6 ^a	10,3 ^c	7,7	8,1	0,33	<0,01	0,14	0,32
CH₄, g/d	189,9 ^{ab}	229,4 ^b	164,4 ^a	188,1	201,9	6,7	<0,01	0,46	0,70
CH₄, g/kg CMS	26,8 ^b	39,5 ^c	14,3 ^a	26,6	25,6	1,9	<0,01	0,08	0,62
CH₄, g/kg PV	0,79 ^b	0,83 ^b	0,48 ^a	0,70	0,69	0,03	<0,01	0,23	0,96
CH₄, g/kg ADPV	195,7 ^a	322,4 ^b	131,6 ^a	200,1	236,8	15,9	<0,01	0,33	0,34
Ym, %	8,1 ^b	11,9 ^c	4,9 ^a	8,0	8,4	0,005	<0,01	0,28	0,38

EE= error estándar de la media. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$). * Medidos en el período de determinación de CH₄ a campo.

4.7 Relación entre medición y estimación de metano entérico

Durante la primavera, verano y engorde a corral se observaron diferencias ($P < 0,01$) entre la producción diaria de CH_4 g/animal medido a campo y estimado (Figura 6). Los valores estimados fueron 106, 126 y 57 g CH_4 /animal/d menores que observados en las mediciones de campo realizadas durante la primavera, verano y corral, respectivamente.

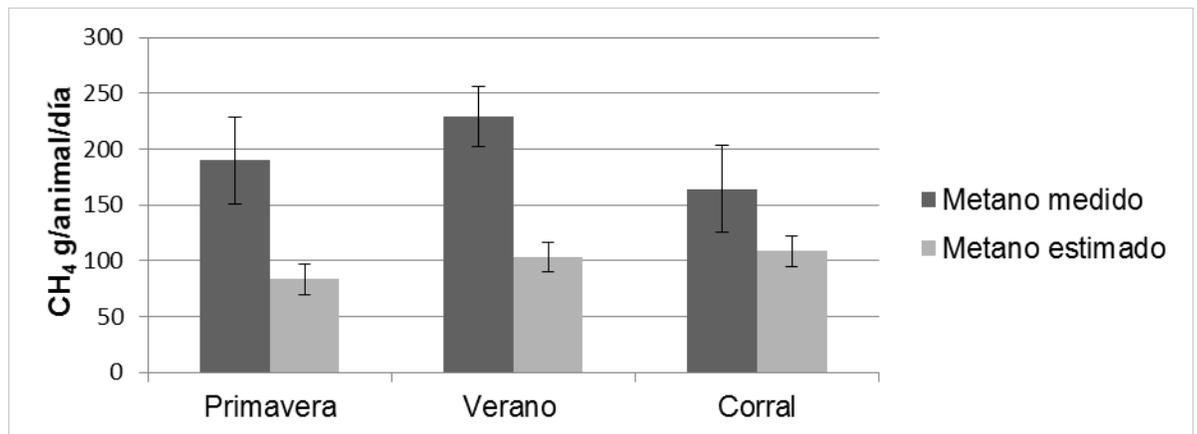


Figura 6. Emisión diaria de metano entérico (CH_4) medido y estimado de novillos durante la primavera, verano y engorde a corral.

4.8 Eficiencia de conversión alimenticia y eficiencia de uso de la energía

La eficiencia de conversión del rodeo de cría fue de 25,7 y 26,7 kg MS/kg ternero destetado y de 60,3 y 61,8 Mcal EM/kg ternero destetado para los tratamientos DHP y DT, respectivamente.

Durante la etapa de invernada, (recría y engorde), si bien el CMS y el consumo de EM fue menor ($P < 0,01$; Tabla 7) en DHP que en DT, el total de kg de PV ganados también fue menor ($P = 0,08$). Esto determinó que no existieran diferencias significativas en la eficiencia de conversión alimenticia ($P = 0,40$) como tampoco en la eficiencia energética ($P = 0,50$) entre novillos DHP y DT.

Al analizar el ciclo completo (cría, recría y terminación), la eficiencia energética del rodeo en base al consumo total de EM y a la producción total de kg PV (novillos + vacas descarte) fue de 30,6 y 31,6 Mcal EM/kg PV para los tratamientos DHP y DT, respectivamente. Mientras que para dichos rodeos, la eficiencia de conversión alimenticia fue de 22,3 y 23,0 kg MS/kg PV para rodeos con DHP y DT, respectivamente.

Tabla 7. Total de kg de peso vivo (PV) ganados durante la recría y engorde, consumo total de materia seca (MS), consumo total de energía metabolizable (EM; Mcal), eficiencia de conversión alimenticia y eficiencia energética de novillos de destete hiperprecoz (DHP) y tradicional (DT).

	DHP	DT	EE	P valor
PV ganado, kg	219	234	4,4	0,08
Consumo total				
MS, kg	1.695	1.852	32,3	0,01
EM, Mcal	3.794	4.139	72,3	0,01
Eficiencias				
Conversión alimenticia^a	7,8	7,9	0,1	0,40
Energética^b	17,3	17,7	0,24	0,50

^a kg materia seca consumida/kg PV ganado. ^b Mcal EM/kg PV ganado

4.9 Emisiones de metano entérico totales del sistema

El total de emisiones de CH₄ durante el ciclo completo del rodeo simulado (Punto 3.10), fue de 6.818 y 7.681 kg CH₄ para los tratamientos DHP y DT, respectivamente. La mayor proporción de las emisiones de CH₄ de todo el sistema se genera en la fase de cría (vacas, toros, vaquillonas reposición y terneros), representando un 72% del total de las emisiones (Figura 7).

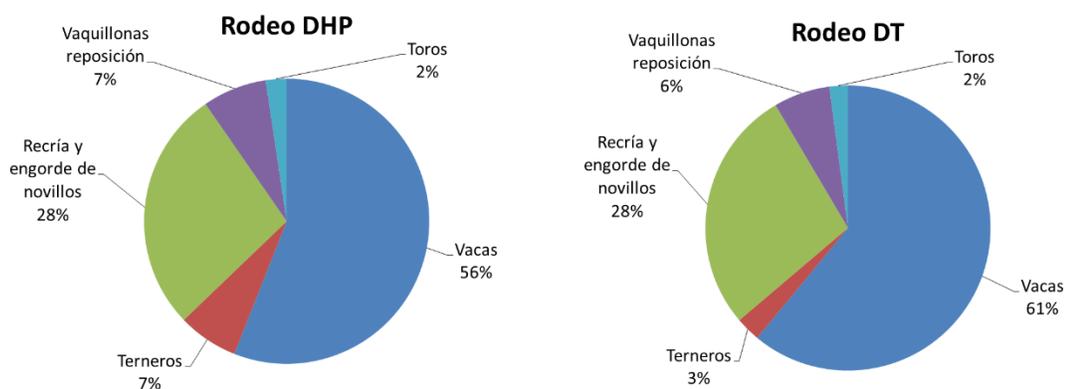


Figura 7. Participación porcentual de cada categoría animal de un rodeo de producción de carne de ciclo completo en el total de emisiones de metano entérico durante un ciclo productivo de un rodeo con destete hiperprecoz (DHP) y tradicional (DT).

4.10 Intensidad de emisiones de metano del sistema de producción

En Tabla 8 se reporta la intensidad de emisiones de CH₄ en diferentes fases de un sistema de producción de carne bovina. En la etapa de cría la intensidad de emisiones del rodeo DHP fue 20 g CH₄/kg ternero menor con respecto al rodeo DT. En cambio el efecto del adelantamiento del destete fue menor en la etapa de invernada, donde se encontró que la intensidad de emisiones fue entre 7 g CH₄/kg novillo menor en novillos DHP con respecto a DT. A nivel de ciclo completo, donde se evaluó la emisión total de CH₄ referida a la producción total de carne (carcasa), se observó que la intensidad de emisiones del rodeo DHP fue entre 26 y 32 g CH₄/kg carcasa menor con respecto al rodeo DT, según metodología de cálculo (Tabla 8). En este sentido, en el ciclo completo, cuando se incluyó los valores de CH₄ medido la intensidad de emisiones promedio de ambos tratamientos fue 18 g CH₄/kg carcasa mayor con respecto a CH₄ estimado.

Tabla 8. Intensidad de emisiones de metano entérico a nivel de cría, invernada y ciclo completo en un rodeo simulado con destete hiperprecoz (DHP) y tradicional (DT).

	Indicador	DHP	DT
Cría	g CH₄/kg ternero	542	562
Invernada	g CH₄ estimado/kg novillo	123	130
	g CH₄ medido/kg novillo	155	154
Ciclo completo	g CH₄ estimado/kg carcasa	474	506
	g CH₄ medido/kg carcasa	495	521

Estimado: con Y_m = 6,5% en recría y engorde. Medido: con factores de emisión observados a campo (Tabla 6).

5 DISCUSIÓN

5.1 Alimentación y respuesta animal durante la cría, recría y engorde

En la etapa de cría, tal como se esperaba, el DHP tuvo un efecto positivo en la recuperación del PV postparto de vacas bajo este tratamiento en comparación con las vacas de DT (Figura 2). Similares respuestas obtuvieron Story *et al.* (2000), Schultz *et al.* (2005), y Myers *et al.* (1999a). El mayor PV de las vacas de DHP con respecto a las vacas DT observado al finalizar el período de lactancia (Marzo), se encontró relacionado con un mayor ADPV de las vacas de DHP en dicho período. La respuesta favorable en el ADPV en las vacas de DHP puede ser explicada por la supresión inmediata de la demanda energética que implica la producción de leche (Myers *et al.*, 1999a). Además, el balance energético positivo durante el postparto aumentaría la posibilidad de que las vacas comiencen a ciclar durante la temporada de servicio (Richards *et al.*, 1986). Esto fue observado en el presente estudio ya que el período entre partos fue 12 d menor en las vacas DHP con respecto a las vacas DT. En un servicio de 60 d esta diferencia de días representa un 20% del total del tiempo que las vacas están en contacto con los toros. Esto pone en evidencia que existió una relación favorable entre la reducción del período de lactancia y la reducción del intervalo entre partos. En el mismo sentido, Martins *et al.* (2012) encontraron que vacas de DHP presentaron un mayor ADPV asociado a un retorno del ciclo reproductivo anticipado con respecto a las vacas de DT. Una mejora en los índices reproductivos y el adelantamiento de la fecha de parto aumenta los kg de terneros destetados, lo cual es considerada como una medida altamente efectiva para reducir la intensidad de emisiones de GEI en un rodeo (Hristov *et al.*, 2013b).

Por otro lado, el mayor PV de las vacas DHP observado en el mes de Marzo resulta interesante ya que es el momento del año es donde se venden las vacas de descarte en la mayoría de los rodeos de cría. Por lo tanto, una diferencia de 38 kg PV a favor de las vacas DHP al momento de la venta se podría traducir en mayor eficiencia en el uso de la energía y mayor beneficio económico del sistema.

El PV de los terneros de DHP observado a los 205 d fue similar con respecto a los de DT. Resultados opuestos encontró Schor *et al.* (2005), quienes observaron que los terneros destetados precozmente (noviembre) tuvieron 18 kg menos, con respecto a los terneros de DT. Probablemente la diferencia sea debida al menor período de suministro

de alimentos balanceado (10 d) y a que el resto del período (70 d) los terneros fueron alimentados con pasturas con una suplementación a campo. En el presente trabajo el alimento balanceado fue suministrado por 30 d y luego los terneros permanecieron en el corral donde consumieron una dieta de alta calidad (2,7 Mcal/kg MS y 17% de PB). Esto pudo haber sido la causa de que los terneros DHP tuvieron una evolución de PV favorable durante el corral al inicio del ciclo productivo comprendido entre los 53 y 205 d de vida. Otras experiencias indican que la edad ideal para anticipar el destete, sería entre los 70 y 90 d de edad del ternero, ya que es el momento que comienzan a consumir alimentos sólidos, en tanto que al destetar alrededor de 50 d podría afectar el peso de los novillos al momento de la faena (Arthington y Vendramini, 2013).

Una vez que los terneros de ambos tratamientos fueron destetados e introducidos al Módulo de Invernada Intensiva, se observó que el ADPV de los terneros de DHP fue inferior que los terneros de DT durante los primeros 54 d de pastoreo (260 d de edad). El menor ADPV de los terneros DHP en el comienzo de la recría determinó la diferencia de PV observado al momento de la faena, ya que el ADPV fue prácticamente similar en el resto de los períodos evaluados. El menor desempeño de los terneros de DHP podría estar asociado a una baja tasa de degradación ruminal del forraje. Esto puede ser debido a una mayor proporción de flora amilolítica generada con dietas de alta proporción de concentrado (Rotger *et al.*, 2005) y a la falta de un período de desacostumbramiento mediante el suministro de fibra de alta calidad (Cole y Hutcheson, 1985). Con respecto al acostumbramiento, cabe destacar que se observó visualmente un alto rechazo del heno suministrado, lo cual pudo haber generado una falta de acostumbramiento. Entonces, el bajo consumo del componente fibroso antes de comenzar el pastoreo pudo haber sido la principal causa del bajo ADPV al inicio del pastoreo ya que pudo haber generado un ambiente ruminal poco eficiente para la degradación de la fibra. En este sentido, Pordomingo *et al.* (2010) encontraron similares respuestas de ADPV en animales que pasaron de una recría a corral con alto nivel de concentrado a pastoreo directo y este efecto fue observado hasta los 64 d del comienzo del pastoreo, lo cual coincide con el presente estudio. Por otro lado, los terneros de DT pudieron tener una ventaja comparativa con respecto a los terneros de DHP al inicio del pastoreo ya que tenían el hábito del consumo de forraje en pastoreo directo inculcado por el aprendizaje adquirido al pie de las vacas (Provenza, 2003).

Durante la etapa de recría las pasturas utilizadas en el ensayo fueron de alta calidad, las cuales presentaron valores promedio durante el año de 71,2% DMS, 16,8% PB y 47,7% FDN. Dichos valores son similares a los resultados reportados por Abdelhadi *et al.* (2000), Perea (2015) y Hara (2017) en el mismo ambiente y con pasturas consociadas. Por el contrario, los valores promedios de DMS y PB fueron superiores a los reportados por el laboratorio de evaluación de calidad de forrajes (Guaita y Fernandez, 2011) donde se analizaron muestras de pasturas consociadas representativos de la región. Es probable que los parámetros de calidad de las pasturas encontrados en el presente trabajo sean debido al manejo del pastoreo rotativo con ocupación diaria de la franja, altas cargas instantáneas y control temprano de la floración (Agnusdei y Di Marco, 2015). Con respecto al contenido de MS, solamente durante el otoño éste se encontró por debajo del umbral crítico de 18 a 20%, el cual se considera como un factor limitante que afecta al CMS (Butris y Phillips, 1987).

El ADPV registrado durante el periodo otoño-invierno fue entre moderado a bajo en ambos tratamientos (< 0,4 kg ADPV; Figura 5), lo cual no se condice con la calidad de la oferta forrajera. Uno de los motivos de la baja respuesta animal en otoño-invierno puede deberse al bajo contenido de MS, y al desbalance entre el contenido de carbohidratos solubles (CS) y proteína soluble (PS; Elizalde y Santini, 1992). El alto contenido de PS genera un exceso de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) que disminuye la eficiencia del uso de N para la síntesis de proteína bacteriana. Se considera como valores normales que no limitan el crecimiento bacteriano en el rumen a partir de 5 mg de N-NH₃ por cada 100 ml de licor ruminal (Satter y Slyter, 1974). Experimentos realizados en Balcarce reportan valores entre 14,9 a 32,6 mg N-NH₃/100 ml licor ruminal (Elizalde y Santini, 1992). El excedente de N-NH₃ es tóxico para el animal, por lo tanto, debe ser convertido en urea en el hígado, proceso por el cual requiere gasto de energía (Moe, 1981). En síntesis, el bajo ADPV en el otoño-invierno en animales en crecimiento puede deberse a un déficit de proteína para el animal, y un elevado consumo de energía para detoxificar el exceso de N-NH₃, lo cual concuerda con otros trabajos realizados en la pampa húmeda (Elizalde y Santini., 1992; Mendez y Davies., 2001).

Otro factor, no nutricional, que posiblemente generó un bajo ADPV otoño – invierno pudo haber sido una restricción del CMS asociado al manejo de la franja de pastoreo utilizado en este ensayo. Cabe destacar que en todo el período otoño-invierno la altura de

la pastura a la salida de la franja fue de 4,1 cm en promedio, asociado a una biomasa remanente promedio de 1.261 kg MS/ha. El CMS en pastoreo está definido como el producto entre el peso del bocado, la frecuencia de bocado y el tiempo de pastoreo (Allden y Whittaker, 1970; Hodgson *et al.*, 1997; Cosgrove, 1997; Illius, 1997). Cuando disminuye la altura de la pastura existe un mecanismo de compensación en donde el animal incrementa la frecuencia de bocados y el tiempo de pastoreo hasta un cierto punto, a partir de allí, la baja disponibilidad del forraje suprime el mecanismo de compensación (Sollenberg y Burns, 2001). En consecuencia, ante una disminución del peso del bocado se produce una disminución del CMS (Chacon y Stobbs, 1976; Sarmiento, 2003). En el mismo sentido, Boadi *et al.* (2002) atribuyeron una disminución del CMS en el último período de permanencia en la franja a una escasa disponibilidad de pastura a la salida de la franja de pastoreo (<1600 kg MS/ha). De acuerdo con Wright y Russel (1987) aquellos sistemas donde la calidad de pasturas y el manejo sanitario no son factores limitantes, tal como el presente trabajo, la baja respuesta animal observada se atribuiría a una disminución del CMS por baja disponibilidad del forraje.

Este manejo del pastoreo fue levemente modificado en el periodo de primavera y comienzos del verano, donde la altura de la pastura a la salida de la franja fue de 7,9 cm desde el 14/08/2015 hasta el final del período que los animales estuvieron en pastoreo. Consecuentemente, existió un mayor ADPV promedio en novillos de ambos tratamientos (0,58 kg ADPV) en comparación al periodo otoño-invierno. Probablemente hubo un posible incremento en el consumo voluntario, sumado a una mejora en la calidad de la pastura, comparado con el período anterior. En este sentido Wright y Whyte (1989) encontraron la máxima respuesta animal cuando la altura de salida era de 8-10 cm en una mezcla de ryegrass (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). Cabe mencionar que el ADPV durante primavera – verano fue similar entre novillos DHP y DT, lo cual pone en evidencia que no hubo crecimiento compensatorio de los novillitos DHP con respecto a DT en la etapa de recría pastoril. Según Hornick *et al.* (2000) ante una restricción nutricional existen cambios metabólicos y endócrinos que determinan el grado de respuesta compensatoria. Un factor que pudo influir en la falta de crecimiento compensatorio de los novillos DHP fue la edad en la cual ocurrió la restricción alimenticia. En este sentido, Abdalla *et al.* (1988) encontraron que aquellos animales severamente restringidos hasta los 240 d de vida presentaron a faena un menor PV a igual estado de

engrasamiento. Cabe mencionar que en el presente trabajo dicha restricción, no impuesta, fue entre los 206 hasta 260 d de vida.

En términos generales el ADPV promedio durante todo el período de recría pastoril fue moderado a bajo (0,4 y 0,45 kg/d para DHP y DT, respectivamente). El ADPV durante la recría fue menor que lo reportado por Carreté *et al.* (2006) donde indican un promedio de ADPV de 0,6 kg/d de 3 ciclos de recría de novillos sobre pasturas consociadas (*Festuca arundinacea* y *Medicago sativa*) similares a las utilizadas en el presente trabajo, pero manejadas con una mayor altura de salida de la franja (8 cm) durante todo el período.

Durante el período de engorde a corral el ADPV fue acorde al tipo de dieta y peso de entrada de los animales. En promedio ambos tratamientos tuvieron un ADPV de 1,24 kg/d. Dicho valor se encuentra en concordancia con los valores reportados por Pordomingo *et al.* (2002) quienes encontraron un ADPV de 1,26 kg/d con una dieta de 78% de grano de maíz partido y un PV inicial de 232 kg. El ADPV durante el engorde a corral tendió a ser mayor en los novillos DHP con respecto a los de DT. Probablemente dicho diferencial de ADPV encontrado durante el período de engorde a corral sea explicado por efecto de un crecimiento compensatorio de los novillos DHP. Esto concuerda con Mc Curdy *et al.* (2010) quienes encontraron que novillos que tuvieron el menor ADPV durante la recría presentaron el mayor ADPV en la etapa de terminación a corral, lo cual estaría asociado a una alta capacidad de CMS, menor gasto energético de mantenimiento y la energía retenida en el aumento de peso de los animales que fueron restringidos. No obstante, en promedio el ADPV fue menor al esperado en función del consumo de EM a partir del CMS medido para ambos tratamientos. Probablemente se haya obtenido una sobreestimación de la concentración energética de la dieta estimada a partir de la digestibilidad *in vitro*. Cabe destacar que el ADPV ligeramente superior de los novillos de DHP observado en el corral, no fue suficiente para alcanzar el PV de los novillos DT y revertir el menor PV causado por el bajo ADPV al inicio de la recría.

Con respecto a las características de la carcasa, el tratamiento de DHP no afectó la tasa de engrasamiento de los novillos en ninguno de los períodos evaluados, como así tampoco el EGD a la faena. Esto fue contrario a lo esperado, ya que con un menor PV de los novillos de DHP desde el d 261 hasta faena y similar ADPV entre tratamientos, se esperaba un mayor engrasamiento con respecto a los novillos DT. Según Schoonmaker

et al. (2002), ante similar alimentación, los terneros destetados anticipadamente tienen una tasa de engrasamiento mayor que los terneros de destete tradicional, lo cual se encuentra asociado con un menor PV a faena.

El AOB tendió a ser mayor en los novillos DT hasta el final del período en pastoreo. Sin embargo, durante la fase de engorde a corral, la diferencia numérica se mantuvo, pero aumentó la dispersión de los resultados, por lo que no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. En el presente trabajo, el mayor desarrollo muscular concuerda con el mayor PV encontrado en los novillos DT. Estos resultados coinciden con Coleman *et al.* (1986) quienes encontraron que una restricción en la etapa de crecimiento generó un menor desarrollo muscular, el cual no fue compensado durante el engorde.

Respecto al rendimiento de res, la tendencia a ser mayor en los novillos DT probablemente se deba a escasas diferencias en el % de desbaste, grasa, cuero y otros componentes corporales que no fueron determinadas durante la faena, como así también a un posible sesgo en la determinación del peso de la res caliente en el frigorífico. Contrariamente, Myers *et al.* (1999b), observaron que el mayor consumo de concentrados en terneros destetados anticipadamente estaba asociado a un menor peso del retículo rumen y mayor rendimiento de res. El menor peso del tracto gastrointestinal se podría traducir en menores requerimientos energéticos de mantenimiento, y por ende una mayor eficiencia de conversión como reportan Barker Neef *et al.* (2001) y Arthington *et al.* (2005). Sin embargo, esto parece no haber ocurrido en el presente trabajo ya que tanto la eficiencia de conversión (kg MS/kg Novillo), como la eficiencia energética (Mcal EM/kg novillo) fue similar entre tratamientos.

5.2 Efecto del destete anticipado en el consumo y las emisiones de metano entérico de vacas y terneros

Los menores niveles de CMS estimado para las vacas de DHP respecto a las DT, concuerda con los resultados observados por otros autores mediante mediciones a campo en vacas destetadas vs. no destetadas (Peterson *et al.*, 1987; Arthington y Minton, 2004; Galindo Gonzales *et al.*, 2007; Arthington y Vendramini, 2013). Dichos autores reportan una reducción del CMS en un rango que varía de 16 a 45% en vacas destetadas (< 110 d postparto) con respecto a vacas que permanecen con sus crías en lactancia. De acuerdo con Peterson *et al.* (1987), esto sería debido a una reducción de los requerimientos

energéticos debido a la supresión de la lactancia. En el mismo sentido, Johnson *et al.* (2003) observaron que vacas de cría, en lactancia temprana, aumentaban el CMS en 0,4 kg por cada kg de leche producido con respecto a vacas secas. En el presente trabajo los niveles de CMS expresados en base al PV (1,6 a 1,9 %PV) concuerdan con los reportados en la bibliografía (Mc Caughey *et al.*, 1999; Sawyer *et al.*, 2004; Fitzsimons *et al.*, 2014; Perone, 2015).

Durante la invernada, si bien el CMS medido fue similar entre novillos DHP y DT durante los 3 períodos evaluados, las estimaciones de CMS fueron menores al CMS medido. Dichas diferencias podrían ser explicadas por las siguientes causas que se detallan a continuación. Pudo haber una sobre estimación de la energía de la dieta, debido a que probablemente la digestibilidad *in vivo* haya sido menor que la digestibilidad *in vitro* a causa de una variación en la tasa de pasaje. Al respecto, la tasa de pasaje real pudo haber sido mayor a lo que simula la incubadora Daisy, con lo cual pudo haber disminuido el tiempo de retención en el rumen y con ello la digestibilidad (Ørskov y Ryle 1990). Por lo tanto la oferta de energía estimada podría haber sido mayor por unidad de consumo con respecto a la real, a mayor densidad energética disminuye el CMS estimado para cubrir los requerimientos energéticos.

Durante la medición del CMS en pastoreo, pudo haber una variación de la tasa de excreción del marcador. Esto puede generar una menor recuperación de Cr_2O_5 en las heces, con lo cual sobreestima la producción de heces y el CMS. Otros autores compararon la técnica de estimación basada en los requerimientos y medida a través de marcadores del flujo de la digesta (Cr_2O_3) y encontraron diferencias hasta un 250% en el mismo sentido que en el presente trabajo (Macon *et al.*, 2003). Por lo expuesto se deduce que la medición de CMS más confiable sería durante el período a corral, excepto las posibles pérdidas generada por expulsión fuera del comedero.

La comparación entre estimación y medición de CMS se realizó en el mismo período de tiempo. Durante dichos períodos se produjo una disminución de 0,3, 0,4 y 0,4 kg de ADPV en primavera, verano y corral respectivamente con respecto al período anterior de medición de CMS. A menor ADPV existe un menor requerimiento estimado de EM y por ende un menor CMS estimado. Dicha merma de ADPV pudo haber sido a causa de un mayor nivel de estrés ante la metodología empleada para medir el CMS (encierres,

clasificación, encepado diario, muestreo de heces, corrales individuales), lo cual podría implicar cambios en el metabolismo del animal y un aumento del nivel de cortisol (Zavy *et al.*, 1992). Esto podría estar asociado a un incremento de la demanda energética a los fines de mantener la homeostasis (Balm, 1999) en detrimento de la eficiencia de conversión. Similar respuesta obtuvo Fisher *et al.* (1997) donde encontraron un menor ADPV ante un aumento del estrés generado. Probablemente haya ocurrido una combinación entre los factores expuestos anteriormente. Lo cual se pone en evidencia cuando se calcula, durante el período de engorde a corral, la concentración de la EM de la dieta como la relación entre los requerimientos energéticos (Mcal EM/d) sobre el CMS medido (kg MS/d) donde se observa que la concentración energética del alimento fue un 46% menor con respecto a la calculada a partir de los datos de laboratorio. Esta discrepancia sería explicada por una sobreestimación de la concentración energética de la dieta y por una subestimación de los requerimientos energéticos de los animales debido al bajo ADPV registrado en los momentos en que se comparó el CMS estimado y medido.

Otro factor que puede influir en la variación del CMS estimado es un error en la pesada de los animales, debido al efecto de llenado, lo cual pudo haber sesgado el PV, el ADPV y por ende la estimación de los requerimientos energéticos.

Los resultados estimados de producción diaria de CH₄, en el presente trabajo (144 g/vaca/d), en promedio, fueron inferiores a los reportados en la bibliografía con dietas similares (197 y 205 g/vaca/d, Neitzert *et al.* (1999) y Pavao Zuckerman *et al.* (1999), respectivamente). No obstante, al expresar la producción de CH₄ en proporción al PV se observó en promedio 0,36 g CH₄/kg PV lo cual concuerda con otros trabajos [0,30 a 0,64 g CH₄/kg PV (Chiavegato *et al.*, 2015); 0,29 a 0,49 g CH₄/kg PV (Pavao Zuckerman *et al.*, 1999); 0,20 a 0,39 g CH₄/kg PV (De Ramus *et al.*, 2003); 0,57 g CH₄/kg PV (Mc Caughey *et al.*, 1999); 0,30 g CH₄/kg PV (Chaves *et al.*, 2006)]. Es decir que las diferencias en la producción diaria de CH₄ g/vaca están asociadas al menor PV de las vacas utilizadas en el presente trabajo. La menor producción diaria de CH₄ de vacas de DHP, concuerda con el menor CMS y el menor requerimiento energético estimados, ya que la calidad de la oferta forrajera no varió entre vacas DHP y DT.

Con respecto a los terneros, la producción acumulada de CH₄ hasta la fecha en que se realizó el DT fue mayor en los terneros de DHP respecto a los de DT. Esto fue debido a

que los terneros de DHP comenzaron a consumir alimento sólido cronológicamente antes que los terneros que permanecieron al pié de la madre. La menor producción de CH₄ de los terneros DT no fue suficiente para compensar la mayor producción de CH₄ de sus madres, ya que se observó una producción de CH₄ 12% menor del par vaca-ternero DHP con respecto al DT.

En cuanto a los novillos DHP y DT, tal como se esperaba, la producción diaria de CH₄ fue similar entre tratamientos durante los 3 períodos evaluados. Existen antecedentes en ovinos donde la alimentación con altos niveles de concentrados a temprana edad (< 8 semanas de vida), generó una disminución de la producción de CH₄ por unidad CMS asociado a una reducción de la cantidad de bacterias metanogénicas, estos efectos fueron encontrados hasta las 16 semanas de vida (Yáñez-Ruiz *et al.*, 2010). No obstante, no se encontró en la bibliografía revisada trabajos relacionados con el tipo de alimentación a bovinos en temprana edad y la producción de CH₄ subsecuente. En el presente trabajo, probablemente haya ocurrido una readaptación del ambiente ruminal a las condiciones previas a la aplicación del tratamiento, ya que transcurrió más tiempo entre la oferta dieta concentrada y la determinación de CH₄ con respecto a lo reportado por Yáñez-Ruiz *et al.* (2010). Esto indica que bajo las condiciones experimentales del presente trabajo no se pudo comprobar un efecto de la alimentación diferencial durante los 55 a 205 d de vida sobre la producción de CH₄ durante períodos subsiguientes a largo plazo. Al menos no lo suficiente para ser observado mediante la técnica utilizada. Probablemente la producción diaria de CH₄ similar entre novillos DHP y DT sea explicado por el CMS equivalente observado entre tratamientos. La mayor diferencia numérica entre los tratamientos fue encontrada en la primavera debido a la presencia de un animal del tratamiento DT que emitió un 65,1% más de CH₄ g/d que el promedio de su grupo, no obstante esto podría explicarse debido a que el CMS y el ADPV fue un 28 y 23% superior con respecto al promedio de su grupo.

La mayor producción diaria de CH₄ por animal durante el verano se explicaría por una disminución de la calidad de las pasturas. Según McAllister *et al.* (1996) existe una fuerte relación entre la calidad del forraje y las emisiones de CH₄. En el presente trabajo la disminución de la calidad de la pastura en verano estuvo asociado a un aumento del contenido de FDN, FDA y lignina (3,5, 3,1 y 0,5% mayor, respectivamente) y una disminución del contenido de PB y DMS (2,9 y 10,5% menor, respectivamente) con

respecto a la primavera. Similar disminución de la DMS entre estaciones del año fue encontrada por Continanza (2010) en pasturas de *Thinopyrum ponticum*, quien observó 78% y 65% DMS en primavera y verano, respectivamente. Probablemente ante la mayor calidad de forraje encontrada en el presente trabajo durante la primavera se podría especular que hubo una mayor tasa de pasaje, menor tiempo de retención ruminal, asociado a un mayor CMS observado en dicho período con respecto al verano. En este sentido el tiempo de retención del forraje en el rumen puede explicar un 28% de las emisiones de CH₄ (Okine *et al.*, 1989). Boadi y Wittenberg. (2002) no encontraron diferencias en la producción de CH₄ con dietas de alta y baja calidad, debido a que una baja calidad de la ración fue compensada por una disminución del CMS. Contrariamente en el presente trabajo se observó que ante una menor calidad de la pastura disminuyó el CMS pero aumentó la producción diaria de CH₄ por animal, lo cual generó una mayor producción de CH₄ por unidad de CMS.

Por su parte la menor producción diaria de CH₄ (g/animal/d) observada durante el encierre respecto a los períodos de pastoreo estuvo asociado al cambio de dieta y por ende al tipo de fermentación ruminal, en la que se disminuye la relación acético/propiónico. Además, una alimentación con dietas de engorde a corral produce una mayor tasa de degradación con respecto a dietas fibrosas, lo cual se asocia con una disminución del pH ruminal hasta valores de 6 a 6,4 que son menos favorables para la metanogénesis (Johnson y Johnson, 1995; Lee *et al.*, 2000; Moss *et al.*, 2000; Jarvis *et al.*, 2000). Por otra parte, la mayor tasa de degradación ruminal en dietas de terminación se encuentra asociada a un aumento del flujo de la digesta, lo cual podría disminuir el crecimiento de microorganismos metanogénicos (Weimer, 1998). La reducción en la producción de CH₄ encontrada en el corral concuerda con Beauchemin y McGinn (2005). Estos autores observaron una reducción de hasta un 64% emisiones de CH₄ g/d en novillos alimentados con dietas de engorde respecto a dietas fibrosas.

La producción de CH₄ por unidad de ADPV medidos a campo, tuvo el mismo comportamiento a lo largo del ciclo productivo que los resultados simulados por Hara (2017) y en concordancia con la bibliografía en general. A medida que aumentó el ADPV se produjo una disminución en la producción de CH₄ por unidad de ADPV. Esto puede ser explicado por un cambio en la distribución de la energía consumida, ya que a medida que

aumenta el ADPV proporcionalmente disminuye la energía requerida para cubrir funciones de mantenimiento (Rearte y Pordomingo, 2014).

Los valores de Ym observados en el presente trabajo (4,9 a 11,9%) son mayores a los sugeridos por IPCC (2006; 3 y 6,5% para dietas con mayor y menor a 90% de concentrados, respectivamente). Esta diferencia fue observada tanto en la primavera y verano como en el engorde a corral. Otros autores también han reportado diferencias de Ym con respecto al valor propuesto por el IPCC (2006), [11,3% (Ominski *et al.*, 2006); 9,5% (McCaughey *et al.*, 1999); 9,4% (Molina *et al.*, 2016); 8,4% (Cushnahan *et al.*, 1995); 8,4% (Boadi *et al.*, 2002); 8,4% (Chiavegato *et al.*, 2015); 8,0% (O' Neill *et al.*, 2012); 7,3% (Liu *et al.*, 2017)]. En líneas generales, los animales utilizados por dichos autores fueron alimentados con pasturas que contenían alrededor de un 30% mayor contenido de la fracción fibrosa (%FDN) respecto a las pasturas utilizadas en el presente trabajo, con excepción de los resultados de O' Neill *et al.* (2012), quienes también encontraron valores de Ym superiores a 6,5% en vacas alimentadas con pasturas de buena calidad (42 %FDN). Es necesario tener presente que los factores de emisión del IPCC (2006) son los valores de una pendiente de regresión, los cuales fueron obtenidos del análisis de trabajos en distintas condiciones de estudio, por lo que es esperable que existan desvíos de estos valores tal como lo ocurrido en el presente trabajo y en otros revisados en la bibliografía. En este sentido, el IPCC (2006) asume un rango de incertidumbre para el Ym que varía desde el 20 al 50%. Probablemente esta discrepancia sea debido a que los factores de emisión propuestos por el IPCC (2006) no se basan en datos específicos del país en cuanto a las características del ganado y tipo alimentos (Kurihara *et al.*, 1999). La variación observada en cuanto a la producción de CH₄ puede estar afectada por factores tales como, la capacidad de ingesta, comportamiento selectivo del animal, tiempo de retención del alimento en el rumen, y la asociación de estos factores que conducen a una mayor o menor capacidad de digestión de la fibra (Huhtanen *et al.*, 2016). Según Pinares-Patiño *et al.* (2003) y Pinares-Patiño *et al.* (2007), la mayor parte de la variación del Ym es a causa de la interacción entre las características estructurales y químicas del alimento consumido combinado con el efecto de rumia, fisiología digestiva y ambiente ruminal. Otros autores sugieren que el modelo del IPCC tiene limitaciones en cuanto a la capacidad para describir los cambios en las emisiones de CH₄ en respuesta a los cambios en la composición de la dieta (Ellis *et al.*, 2010). Sin embargo los factores de emisión del

IPCC se han convertido en valores de referencia, ante el cual se comparan la mayoría de los trabajos, probablemente debido a que es la metodología empleada para realizar inventarios de GEI en la mayoría de los países. Cabe mencionar que todos los valores de Ym encontrados en el presente trabajo estuvieron dentro del rango de 2 al 12 % reportado por Johnson y Johnson, (1995).

Otra fuente de variación de Ym (%) puede deberse a la eficiencia energética individual de los animales. Dichas variaciones podrían estar explicadas por el incremento calórico, tasa de ganancia de peso, la composición del aumento de peso, el turnover proteico, el metabolismo de los tejidos, y en animales en pastoreo, su comportamiento ingestivo (Richardson y Herd, 2004). Según Basarab *et al.* (2003), aquellos animales menos eficientes tendrían mayor pérdida de energía a través de la producción de calor, pérdida de energía en las heces, orina y producción de CH₄. Por otro lado, Nkrumah *et al.* (2006) reportaron que animales de alta eficiencia energética produjeron 25% menos CH₄ que aquellos de baja eficiencia. En este sentido, la endogamia en los rodeos de cría podría deprimir el peso al nacer, el peso al destete, el peso adulto, la producción de leche y la eficiencia de conversión (Burrows, 1993). Los valores de eficiencia de conversión alimenticia y energética encontrados en el presente trabajo estuvieron dentro de los rangos reportados en la bibliografía (Laucirica, 2015; Coleman *et al.*, 1986) motivo por el cual no parece ser un factor que pueda explicar el mayor Ym observado con respecto al IPCC, 2006. No obstante, se desconoce el grado de endogamia y su posible efecto en los parámetros productivos en el rodeo de cría de la Reserva 6, lo cual podría ser motivo de estudio en otros trabajos.

5.3 Intensidad de emisiones de metano a nivel de sistema

La menor producción diaria de CH₄ de las vacas DHP estuvo asociada a una menor intensidad de emisiones de la fase de cría, a pesar del menor PV de los terneros al momento del destete. Esto concuerda con White *et al.* (2015), quienes encontraron una reducción en la intensidad de emisiones a nivel de ciclo completo al adelantar el destete. No obstante, dicha reducción fue mayor en términos porcentuales con respecto a la observada en el presente trabajo debido a un mayor peso al destete y consecuentemente un efecto de dilución de las emisiones de CH₄ en mayor cantidad de kg de ternero destetado. En líneas generales, los resultados de intensidad de emisiones de CH₄

observados en la etapa de cría estuvo dentro de los rangos estimados por Aello y Ricci (2016) en un rodeo con una tasa de destete de 85 a 90%.

El porcentaje de la producción de CH₄ total correspondiente a la etapa de cría o de recría-engorde dependerá de la eficiencia productiva con que se realicen dichos procesos. No obstante el potencial de mitigación de las emisiones de CH₄ en cada fase de un sistema de producción de carne es distinto. Según Beauchemin *et al.* (2011) aplicar diferentes estrategias de mitigación e intensificación en la fase de cría puede reducir hasta un 17% la intensidad de emisiones de GEI del sistema, en tanto que la aplicación de estrategias de mitigación durante la fase de terminación a corral tendrían un menor impacto de alrededor del 2-4% en la reducción de la intensidad de emisiones de GEI del sistema de ciclo completo. Esto sería explicado por la mayor participación de la fase de cría en el total de la producción de CH₄ del rodeo, en el presente trabajo al anticipar el momento de destete se observó una reducción de 3,7% en la producción de CH₄ por kg de ternero producido.

Durante la recría y engorde, la intensidad de las emisiones de CH₄ en ambos tratamientos fue menor con respecto a la cría. Esto concuerda con la mayor eficiencia de stock, mayor cantidad de kg producidos en base a los kg mantenidos, que tienen los sistemas de invernada con respecto a la cría. La utilización de los valores de producción de CH₄ medidos a campo, durante la recría y engorde, resultó en una intensidad de emisiones de CH₄ por kg logrado (peso vivo) de 22% mayor con respecto a las estimaciones utilizando valores sugeridos por IPCC (2006) en dicha fase de producción. Estas diferencias observadas en los momentos en que se incluyeron los valores de CH₄ medidos son explicadas por las discrepancias entre los valores de CMS y CH₄ observados y estimados, tal como se discutió anteriormente. En líneas generales durante la recría y engorde la intensidad de emisiones de CH₄ observada en el presente trabajo concuerda con Stewart *et al.* (2014) donde observaron emisiones de 120 a 150 g CH₄/kg novillo en sistemas de recría de base pastoril.

En cambio, al analizar el ciclo completo de producción de carne, donde se computa el total de las emisiones del rodeo sobre el total de kg de carne producidos (peso de res caliente), se observó que al incluir los valores de CH₄ observados, durante la recría y

engorde, la producción de CH₄ por kg logrado (res caliente) fue un 3,8% mayor con respecto a la estimación según IPCC (2006).

Resulta interesante que mediante ambas metodologías evaluadas la intensidad de emisiones g CH₄/kg carcasa a nivel de ciclo completo disminuyó al acortar el período de lactancia (Tabla 8). En el presente trabajo al aplicar la práctica de DHP se observó una reducción del 5% en la intensidad de emisiones (g CH₄/kg carcasa), a nivel de ciclo completo. Esto concuerda con Hristov *et al.* (2013b) donde evaluaron diferentes prácticas de manejo del rodeo y encontraron que la mayoría de ellas reducen la intensidad de emisiones en un rango que varía del 1 al 10 %.

En términos generales, a nivel de ciclo completo, la intensidad de emisiones varió en un rango de 474 a 521 g CH₄/kg carcasa. Estos valores son menores a los reportados por Beauchemin *et al.* (2010) donde reportan 590 g CH₄/kg carcasa, probablemente debido al mayor peso de las vacas (600 kg), menor tasa de destete (85%) y mayor tasa de mortandad en la invernada (4%) con respecto a los parámetros utilizados para la simulación en el presente trabajo. Por el contrario, el rango de intensidad de emisiones del presente trabajo es mayor con respecto a los resultados reportados por Vergé *et al.* (2008), quienes utilizaron un Ym de 6% y no incluyeron la participación de los toros en la composición del rodeo, lo cual manifiesta que existe una variabilidad asociada en función de los parámetros físicos y biológicos utilizados en la simulación.

El máximo valor de intensidad de emisiones de CH₄ encontrado en la bibliografía fue de 960 g CH₄/kg carcasa, en un rodeo de raza Wagyu con intervalos entre partos de 14 meses, y la venta del ternero a los 8 meses de edad con un rendimiento de res del 40% (Ogino *et al.*, 2007). Estos autores encontraron que al disminuir el intervalo entre partos de 14 a 12 meses el impacto ambiental asociado a la emisión de GEI disminuía a 11,5%; en cambio aumentar los terneros producidos de 7 a 9 en la vida útil de la vaca solo reducía un 5% la emisión de GEI a nivel del sistema. Esto pone en evidencia la importancia de lograr altos índices reproductivos y lograr animales con mayor peso de faena con el objetivo reducir la intensidad de emisiones de CH₄. En el presente trabajo acortar el período de lactancia redujo la intensidad de emisiones de CH₄. Esta respuesta podría haber sido aún mayor si el PV final de los novillos hubiese sido similar en ambos tratamientos o aún mayor con diferencias a favor de novillos DHP.

6 CONCLUSIONES

El presente trabajo demostró que el momento de destete es una alternativa de manejo para disminuir la intensidad de emisiones del sistema de producción de carne de ciclo completo, principalmente por la reducción de las emisiones de CH₄ de las vacas. La alimentación de los terneros con alto nivel de concentrados en edad temprana, no demostró efectos a largo plazo en las emisiones de CH₄ totales ni en la eficiencia de utilización de la energía. En cambio, el tipo de dieta afectó marcadamente las emisiones de CH₄ con un efecto similar para ambos tipos de destetes. Se observó una menor respuesta productiva de los terneros destetados en forma anticipada que los destetados de manera tradicional. No obstante, las características de la res fueron similares entre tratamientos. El menor PV de los novillos DHP no se reflejó en una mayor intensidad de emisiones de CH₄ durante la recría y engorde. Los resultados obtenidos aportan al conocimiento sobre factores de emisión de CH₄ medidos a campo, en condiciones reales de producción y en la intensidad de emisiones de CH₄ de un sistema de producción de carne bovina de ciclo completo en la pampa húmeda Argentina.

7 BIBLIOGRAFÍA

- ABDALLA, H.O.; FOX, D.G.; THONNEY, M.L. 1988. Compensatory gain by Holstein calves after underfeeding protein. *J. Anim. Sci.* 91: 2687-2695.
- ABDELHADI, L.O. 2000. Suplementación de vaquillonas con ensilaje de planta entera o grano húmedo de maíz sobre pasturas de alta calidad. Tesis M. Sci. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, Argentina. 57p.
- AELLO, M.; RICCI, P. 2016. Eficiencia energética y emisión de metano en rodeos de cría vacuna del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 36. (Sup 1) 71-141.
- AGNUSDEI, M. G.; DI MARCO, O. N. 2015. Más producción de carne, menos riesgos y más flexibilidad con pasturas perennes en suelos bajos. Guía práctica para su implementación. INTA. EEA Balcarce, Argentina. 53 p.
- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (ARC). 1980. The nutrient requirements of ruminants. CAB International, Wallingford, UK. 159 p.
- ALFORD, A.R.; HEGARTY, R.S.; PARNELL, P.F.; CACHO, O.J.; HERD, R.M.; GRIFFITH, G.R. 2006. The impact of breeding to reduce residual feed intake on enteric methane emissions from the Australian beef industry. *Aust. J. Exp. Agr.* 46: 813-820.
- ALLDEN, W.G.; WHITTAKER, A.M. 1970. The determinants of herbage intake by grazing sheep: the interrelationship of factors influencing herbage intake and availability. *Aust. J. Agr. Res.* 21: 755-766.
- AOAC. 1990.) Official Methods of Analysis 15th. ed. v.1. AOAC International. Arlington, VA: [enlínea]https://archive.org/stream/gov.law.aoac.methods.1.1990/aoac.methods.1.1990_djvu.txt. [Consulta 12/03/2019]
- ARCHIMEDE, H.; EUGENE, M.; MAGDELEINE, C. M.; BOVAL, M.; MARTIN, C.; MORGAVI, D. P.; LECOMTE, P.; DOREAU, M. 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166: 59-64.
- ARTHINGTON, J.D.; MINTON, J.E. 2004. The effect of early calf weaning on feed intake, growth, and postpartum interval in thin, Brahman-crossbred primiparous cows. *Prof. Anim. Sci.* 20: 34-38.
- ARTHINGTON, J.D.; VENDRAMINI, J.M. 2013. Early Weaning Beef Calves at 70 to 90 Days of Age. An overview of recent research. Proceedings of the 2013 Southwest Nutrition Conference, Tucson, Arizona.
- ARTHINGTON, J.D.; SPEARS, J.W.; MILLER, D.C. 2005. The effect of early weaning on feedlot performance and measures of stress in beef calves. *J. Anim. Sci.* 83: 933-939.
- ARTHUR, P.F.; HERD, R.M. 2008. Residual feed intake in beef cattle. *R. Bras. Zootec.* 37: 269-279.
- BALDWIN, R.L. 1970. Energy metabolism in anaerobes. *Am. J. Clin. Nutr.* 23: 1508-1513.
- BALM, P. H. M. 1999. Stress physiology in animals. Sheffield Academic Press, Sheffield, U.K. 248 p.

- BARKER-NEEF, J.M.; BUSKIRK, D.D.; BLACK, J.R.; DOUMIT, M.E.; RUST, S.R. 2001. Biological and economic performance of early-weaned Angus steers. *J. Anim. Sci.* 79: 2762-2769.
- BASARAB, J. A.; PRICE, M.A.; AALHUS, J.L.; OKINE, E.K.; SNELLING, W.M.; LYLE, K.L. 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 83: 189-204.
- BATISTA SAMPAIO, C.; DETMANN, E.; PEREIRA, T.N.; COSTA, V.A.; VALADARES FILHO, S.; QUEIROZ, A.C. 2011. Fecal excretion patterns and short term bias of internal and external markers in a digestion assay with cattle. *R. Bras. Zootec.* 40: 657-665.
- BAYARU, E.; KANDA, S.; KAMADA, T.; ITABASHI, H.; OH, S.; NISHIDA, T.; ISHIDA, M.; ITOH, T.; NAGARA, K.; ISOBE, Y. 2001. Effect of fumaric acid on methane production, rumen fermentation and digestibility of cattle fed roughage alone. *Anim. Sci. J.* 72: 139-146.
- BEAUCHEMIN, K.A.; MCGINN, S.M. 2005. Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets. *J. Anim. Sci.* 83: 653-661.
- BEAUCHEMIN, K.A.; JANZEN, H.H.; LITTLE, S.M.; MCALLISTER, T.A.; MCGINN, S.M. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada Evaluation using farm based life cycle assessment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166: 663- 677
- BEAUCHEMIN, K.A.; JANZEN, H.H.; LITTLE, S.L.; MCALLISTER, T.M.; MCGINN, S.M. 2010. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agr. Sys.* 103: 371-379.
- BEAUCHEMIN, K.A.; KREUZER, M.; O'MARA, F.O.; MCALLISTER, T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Aust. J. Exp. Agr.* 48: 21-27.
- BEAUCHEMIN, K.A.; MCALLISTER, T.A.; MCGINN, S.M. 2009. Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutr. Nat. Res.* 4, 035. doi: 10.1079/PAVSNNR20094035
- BLAXTER, K.L.; CLAPPERTON, J.L. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Br. J. Nut.* 19: 511-522.
- BLAXTER, K.L.; WAINMAN, F.W. 1964: The utilization of the energy of different rations by sheep and cattle for fattening. *J. Agr. Sci.* 63: 113-128.
- BOADI, D. A.; WITTENBERG, K. M. 2002. Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer gas technique. *Can. J. Anim. Sci.* 82: 201-206.
- BOADI, D.A.; BENCHAAAR, C.; CHIQUETTE, J.; MASSÉ, D. 2004. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. *Can. J. Anim. Sci.* 84: 319-335.
- BOADI, D.A.; WITTENBERG, K.M.; MCCAUGHEY, W.P. 2002. Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur (SF₆) tracer gas technique. *Can. J. Anim. Sci.* 82: 151-157.

- BODAS, R.; LOPEZ, S.; FERNÁNDEZ, M.; GARCÍA-GONZÁLEZ, R.; RODRÍGUEZ, A.B.; WALLACE, R.J.; GONZÁLEZ, J.S. 2008. In vitro screening of the potential of numerous plant species as antimethanogenic feed additives for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145: 245-258.
- BUDDLE, B.M.; DENIS, M.; ATTWOOD, G.T.; ALTERMANN, E.; JANSSEN, P.H.; RONIMUS, R.S.; PINARES-PATIÑO, C.S.; MUETZEL, S.; WEDLOCK, D.N. 2011. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *Vet. J.* 188: 11-17.
- BURROWS, H.M. 1993. The effects of inbreeding in beef cattle. *Anim. Breed. Abs.* 61: 737-751.
- BUTRIS, G.Y.; PHILLIPS, C.J.C. 1987. The effect of herbage surface water and the provision of supplementary forage on the intake and feeding behaviour of cattle. *Grass. Forage. Sci.* 42: 259-264.
- BROUČEK, J. 2014. Methods of methane measurement in ruminants. *Slov. J. Anim. Sci.* 47: 51-60.
- CARRETE, J.; SCHENEITER, O.; COLABIANCHI, B.; AMENDOLA, C. 2006. Utilización de pasturas de alfalfa - festuca alta con dos sistemas de pastoreo ii. carga animal y producción de carne. *RIA.* 35: 19-28..
- CARRILLO, J.; SCHIERSMANN, G. 1992. Beef cattle production in the temperate zone of South América. In: Jarrige, R.; Berager, C. (eds). *Beef Cattle Production (Beef Animal Science. C: production System Approach)*. Elsevier. The Netherlands. pp. 259-269.
- CARRILLO, J.; SCIOTTI, A.E.; ODRIOZOLA, E.; MARINO, M.A.; SCHIERSMANN, G.C.S. 1998. Reserva 6: Un sistema de producción de cría vacuna a través de 30 años. Aspectos físicos y biológicos. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 18. (Sup 3). 211-225.
- CERRI, C.C.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M.V.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; BERNOUX, M. 2009. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. *Scientia Agricola.* 66: 831-843.
- CHACON, E.A.; STOBBS, T.H. 1976. Influence of progressive defoliation of a grass sward on the eating behaviour of cattle. *Aust. J. Agr. Res.* 27: 709-727.
- CHAGUNDA, M.G.G. 2013. Opportunities and challenges in the use of the laser methane detector to monitor enteric methane emissions from ruminants. *Anim.* 7: 394-400.
- CHAVES, A.V.; THOMPSON, L.C.; IWAASA, A.D.; SCOTT, S.L.; OLSON, M.E.; BENCHAAAR, C.; VEIRA, D.M.; MCALLISTER, T. A. 2006. Effect of pasture type (alfalfa vs. grass) on methane and carbon dioxide production by yearling beef heifers. *Can. J. Anim. Sci.* 86: 409-418.
- CHIAVEGATO, M.B.; ROWNTREE, J.E.; CARMICHAEL, D.; POWERS, W.J. 2015. Enteric methane from lactating beef cows managed with high- and low-input grazing systems. *J. Anim. Sci.* 93: 1365-1375.
- COLE, N.A.; HUTCHESON, D.P. 1985. Influence of realimentation diet on recovery of rumen activity and feed intake in beef steers. *J. Anim. Sci.* 61: 692-701.
- COLEMAN, S.W.; EVANS, B.C. 1986. Effects of nutrition, age and size on compensatory growth in two breeds of steers. *J. Anim. Sci.* 63: 1968-82.

- CONTINANZA, F.G. 2010. Productividad física y resultados económicos en un sistema de cría manejado según el estado de las pasturas bajo diferentes niveles de carga. Tesis M. Sci. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, Argentina. 103 p.
- COOK, C.W. 1964. Symposium on nutrition of forages and pastures: Collecting forage samples representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies. *J. Anim. Sci.* 23: 265-270.
- COSGROVE, G.P. 1997. Grazing behaviour and forage intake. In: Gomide J.A. (ed.) International Symposium on Animal Production Under Grazing. Universidade Federal de Vicosa, pp.59-80.
- CUSHNAHAN, A.; MAYNE, C.S.; UNSWORTH, E.F. 1995. Effects of ensilage of grass on performance and nutrient utilization by dairy cattle 2. Nutrient metabolism and rumen fermentation. *Anim. Sci.* 60: 347-359.
- CZERKAWSKI, J.W.; BRECKENRIDGE, G. 1969. Fermentation of various soluble carbohydrates by rumen microorganisms with particular reference to methane production. *Br. J. Nutr.* 23: 925-937.
- CZERKAWSKI, J.W.; BLAXTER, K.L.; WAINMAN, F.W. 1966. The metabolism of oleic, linoleic and linolenic acids by sheep with reference to their effects on methane production. *Br. J. Nutr.* 20: 349-362.
- CZERKAWSKI, J.W.; BRECKENRIDGE, G. 1977. Design and development of a long-term rumen simulation technique (Rusitec). *Br. J. Nutr.* 38: 371-384.
- CZARNOCKI, J.; SIBBALD, I.R.; EVANS, E.Y. 1961. The determination of chromic oxide in samples of feed and excreta by acid digestion and spectrophotometry. *Can. J. Anim. Sci.* 41: 67-79.
- DE RAMUS, H.A.; CLEMENT, T.C.; GIAMPOLA, D.D.; DICKISON, P.C. 2003. Methane Emissions of Beef Cattle on Forages: Efficiency of Grazing Management Systems. *J. Environ. Qual.* 32: 269-277.
- DI MARCO, O.N. 2006. Rendimiento de res [en línea] http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/Zootecnia/images/Rendimiento_de_Res.pdf. [Consulta 01/01/2017].
- DI MARCO, O.N.; AELLO, M.S. 2001. Energy expenditure due to forage intake and walking of grazing cattle. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 55: 105-110.
- DIEGO ÁLVAREZ, I. 2008. Eficiencia energética en rodeos de cría con parición en otoño o invierno. Tesis de grado. Universidad nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, Argentina. 50 p.
- DIJKSTRA, J.; FORBES, J.M.; FRANCE, J. 2005. Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. 2nd. ed. CAB International. Wallingford, UK, pp. 157-175.
- DIJKSTRA, J.; VAN ZIJDERVELD, S.M.; APAJALAHTI, J.A.; BANNINK, A.; GERRITS, W.J.J.; NEWBOLD, J.R.; PERDOK, H.B.; BERENDS, H. 2011. Relationships between methane production and milk fatty acid profiles in dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166: 590-595.
- ELLIS, J.L.; BANNINK, A.; FRANCE, J.; KEBREAB, E.; DIJKSTRA, J. 2010. Evaluation of enteric methane prediction equations for dairy cows used in whole farm models. *Glob.Change Bio.* 16: 3246-3256.

- ELIZALDE, J.C.; SANTINI, F.C. 1992. Factores nutricionales que afectan las ganancias de peso en bovinos durante el período otoño-invierno. INTA. EEA Balcarce. Boletín Técnico N°104. 27 p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2017. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990 – 2015. [en línea]. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2015> [Consulta: 21/11/2017].
- FAHEY, G.C.; COLLINS, M.; MERTENS, D.R.; MOSER, L.E. 1994. Forage quality, evaluation, and utilization. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp.494-532.
- FAO. 2011. World livestock 2011: Livestock in food security. FAO, Rome. 115p.
- FISHER, A.D.; CROWE, M.A.; PRENDIVILLE, D.J.; EMIGHT, W.J. 1997. Indoor space allowance: effects on growth, behaviour, adrenal and immune responses of finishing beef heifers. Anim. Sci. 64: 53-62.
- FITZSIMONS, C.; KENNY, D.A.; FAHEY, A.G.; MCGEE, M. 2014. Feeding behavior, ruminal fermentation, and performance of pregnant beef cows differing in phenotypic residual feed intake offered grass silage. J. Anim. Sci. 92: 2170-2181.
- FLUHARTY, F.L.; LOERCH, S.C.; TURNER, T.B.; MOELLER, S.J.; LOWE, G.D. 2000. Effects of weaning age and diet on growth and carcass characteristics in steers. J. Anim. Sci. 78: 1759-1767.
- FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D. 1988. Adjusting nutrient requirements of beef cattle for animal and environmental variations. J. Anim Sci. 66: 1475-1495.
- GALINDO-GONZALEZ, S.; ARHINGTON, J.D.; YELICH, J.V.; HANSEN, G.R.; LAMB, G.C.; DE VRIES, A. 2007. Effects of cow parity on voluntary hay intake and performance responses to early weaning of beef calves. Livest. Sci. 110: 148-153.
- GERBER, P.J., STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.; OPIO, C.; DIJKMAN, J.; TEMPIO, G. 2013. Tackling Climate Change Through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities.: [en línea].FAO, Roma. 115p. www.fao.org/docrep/018/i3437e/i3437e.pdf [consulta: marzo 2018].
- GERBER, P.J.; VELLINGA, T.; OPIO, C.; STEINFELD, H. 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. Livest Sci. 139: 100-108.
- GERE, J.I.; GRATTON, R. 2010. "Simple, low- cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and others applications". Lat. Am. Appl. Res. 40: 377-382.
- GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures and some applications). USDA-ARS, Washington, D.C. Agriculture handbook no. 379. 20p.
- GUAITA, S.; FERNÁNDEZ, H. 2011. Tabla de composición química de alimentos para rumiantes. INTA. EEA Balcarce, Argentina. 60 p.
- GUAN, H.; WITTENBERG, K.M.; OMINSKI, K.H.; KRAUSE, D.O. 2006. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. J. Anim. Sci. 84: 1896-1906.
- HAMMOND, K.J.; HUMPHRIES, D.J.; CROMPTON, L.A.; GREEN, C.; REYNOLDS, C.K. 2015. Methane emissions from cattle: Estimates from short-term measurements using a GreenFeed system compared with measurements obtained using respiration chambers or sulphur hexafluoride tracer. Anim. Feed Sci. Technol. 203: 41-52.

- HARA, S.M. 2017. Evaluación integrada de un sistema de invernada intensiva de base pastoril: estudios en módulo y modelación. Tesis M. Sci. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, Argentina. 64 p.
- HARPER, L.A.; DENMEAD, O.T.; FRENEY, J.R.; BYERS, F.M. 1999: Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 77: 1392-1401.
- HAYES, B.J.; LEWIN, H.A.; GODDARD, M.E. 2013. The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. *Trends in Genetics.* 29: 206-214.
- HEGARTY, R.S.; GOOPY, J.P.; HERD, R.M.; MCCORKELL B. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J. Anim. Sci.* 85: 1479-1486.
- HESS, H.D.; TIEMANN, T.T.; NOTO, F.; CARULLA, J.E.; KREUZER, M. 2006. Strategic use of tannins as means to limit methane emission from ruminant livestock. *International Congress Series.* 1293: 164-167.
- HUHTANEN, P.; RAMIN, M.; CABEZAS GARCÍA, E.H.; 2016. Effects of ruminal digesta retention time on methane emissions: a modelling approach. *Anim. Prod. Sci.* 56: 501-506.
- HODGSON, J.; COSGROVE, G.P.; WOODWARD, S.J.R. 1997. Research on foraging behaviour: Progress and priorities. *Proceedings of the 18th. International Grassland Congress, Winnipeg, Manitoba, Canada, pp. 681-689.*
- HODGSON, J.; MACKIE, C.K.; PARKER, J.W.G. 1986. Sward surface heights for efficient grazing. *Grass Farmer.* 24: 5-10.
- HORNICK, J.L.; VAN EENAEME, C.; GE´RARD, A.; DUFRASNE, I.; ISTASSE, L. 2000. Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domest Anim Endocrinol.* 19: 121-132.
- HRISTOV, A.N.; OH, J.; LEE, C.; MEINEN, R.; MONTES, F.; OTT, T.; ...; OOSTING, S. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂. *FAO: Roma, Italia. Producción y Sanidad Animal No. 177. 231p.*
- HRISTOV, A.N.; OTT, T.; TRICARICO, J.; ROTZ, A.; WAGHORN, G.; ADESOGAN, A.; ...; FIRKINS, J.L. 2013. SPECIAL TOPICS—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *J. Anim. Sci.* 91: 5095-5113.
- ILLIUS, A.W. 1997. Advances and retreats in specifying the constraints on intake of grazing ruminants. *Proceedings of the 18th. International Grassland Congress, Winnipeg, Manitoba, Canada, pp.39-44.*
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol4: Agricultural, Forestry and Other Land Use. [en línea] Institute for Global Environmental Strategies (IGES): Hayama. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> [consulta: marzo 2019]

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. I Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza. 104 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático Ginebra, Suiza. 157 p.
- JARVIS, G.H.; STROMPL, C.; BURGESS, D.M.; SKILLMAN, L.C.; MOORE, E.R.; JOBLIN, K.N. 2000. Isolation and identification of ruminal methanogens from grazing cattle. *Curr. Microbiol.* 40: 327-333.
- JOHNSON, C.R.; LALMAN, D.L.; BROWN, M.A.; APPEDDU, L.A.; BUCHANAN, D.S.; WETTEMANN, R.P. 2003. Influence of milk production potential on forage dry matter intake by multiparous and primiparous Brangus females. *J. Anim. Sci.* 81: 1837-1846.
- JOHNSON, K.M.; HUHLER, H.; WESTBERG, B.; LAMB, P.; ZIMMERMAN, P. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environ. Sci. Technol.* 28: 359-362.
- JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73: 2483-2492.
- KELLY, J.M.; KERRIGAN, B.; MILLIGAN, L.P.; MCBRIDE, B.W. 1994. Development of a mobile, open-circuit indirect calorimetry system. *Can. J. Anim. Sci.* 74: 65-71.
- KLASS DL. 1984. Methane from anaerobic fermentation. *Science.* 223: 1021-1028.
- KURIHARA, M.; MAGNER, T.; MCCRABB, H.; MCCRABB, G. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *Br. J. Nut.* 81: 227-234.
- LASSEY, K.R.; ULYATT, M.J.; MARTIN, R.J.; WALKER, C.F.; SHELTON, I.D. 1997. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmos. Environ.* 31: 2905-2914.
- LAUCIRICA, F. 2015. Efecto de la alimentación en el crecimiento, nivel de terminación y eficiencia energética de terneros de cría. Tesis Lic. Producción Animal. Universidad nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. 43 p.
- LE DU, Y.L.P.; PENNING, P.D. 1982. Animal based techniques for estimating herbage intake. In: Leaver. J.D. (ed.) Herbage intake handbook. British Grassland Society, UK pp. 37-75.
- LEE, S.C.; LEE, H.J.; OH, Y.K. 2000. Methane production from enteric fermentation in ruminants. *J. Anim. Sci.* 13: 171-181.
- LIU, Z.; LIU, Y.; MURPHY, J.P.; MAGHIRANG, R. 2017. Ammonia and Methane Emission Factors from Cattle Operations Expressed as Losses of Dietary Nutrients or Energy. *Agriculture.* 7(3), 16.
- LOCKYER, D.R.; JARVIS, S.C. 1995. The measurement of methane losses from grazing animals. *Environ Pollut.* 90: 383-390.
- 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. *Liv. Prod. Sci.* 84: 135-146.
- LUSBY, K.S.; PARRA, A.A. 1981. Effects of Early Weaning on Calf Performance and on Reproduction in Mature Cows. *Anim. Sci. Res. Rep.* 64-68.

- LYFORD, S.J. 1993. Growth and development of the ruminant digestive system. In: Church, D.C. The ruminant animal: digestive physiology and nutrition. Waveland Press, Illinois. USA. pp. 44-63.
- MACHMÜLLER, A.; KREUZER, M. 1999. Methane suppression by coconut oil and associated effects on nutrient and energy balance in sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 65-72.
- MACOON, B.; SOLLENBERGER, L.E.; MOORE, J.E.; STAPLES, C.R.; FIKE, J.H.; PORTIER, K.M. 2003. Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *J. Anim. Sci.* 81: 2357-2366.
- MARTÍNEZ FERRER, J.; GARCÍA, F.; BRUNETTI, M.A.; CORA, A.; FROSSASCO, G.; LUCINI, E.; MORENO, M.V.; MARTÍNEZ, M.; COLOMBATTO, D. 2014. Evaluación in vitro del potencial anti metanogénico de aceites esenciales extraídos de plantas nativas de Argentina. En: Alfaro, M.V. et al (eds.) Primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica (GALA). INIA. Chile. pp.95-96.
- MARTINS, P.G.M.A., ARTHINGTON, J.D., COOKE, R.F., LAMB, C.G., ARAÚJO, D.B., TORRES, C.A.A., GUIMARAES, J.D., MANCIO, A.B. 2012. Evaluation of beef cow and calf separation systems to improve reproductive performance of first-calf cows. *Livest Sci.* 150: 74-79.
- MCCAUGHEY, W.P.; WITTENBERG, K.; CORRIGAN, D. 1999. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 221-226.
- MCALLISTER, T.A.; OKINE, E.K.; MATHISON, G.W.; CHENG, K.J. 1996. Dietary, environmental, and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 76: 231-243.
- MCALLISTER, T.A.; NEWBOLD, C.J. 2008. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Aust. J. Exp. Agr.* 48: 7-13.
- MCCURDY, M.P.; HORN, G.W.; WAGNER, J.J.; LANCASTER, P.A.; KREHBIEL, C.R. 2010. Effects of winter growing programs on subsequent feedlot performance, carcass characteristics, body composition, and energy requirements of beef steers. *J. Anim. Sci.* 88: 1564-1576.
- MCGINN, S.M.; BEAUCHEMIN, K.A.; COATES, T.; COLOMBATTO, D. 2004. Methane emissions from beef cattle: Effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *J. Anim. Sci.* 82: 3346-3356.
- MCGUFFEY, R.K.; RICHARDSON, L.F.; WILKINSON, J.I.D. 2001. Ionophores for Dairy Cattle: Current Status and Future Outlook. *J. Dairy Sci.* 84: 194-203.
- MCNAUGHTON, L.R.; BERRY, D.P.; CLARK, H.; PINARES-PATIÑO, C.; HARCOURT, S.; SPELMAN, R.J. 2005. Factors affecting methane production in Friesian x Jersey dairy cattle. *Proc. New Zeal. Soc. An.* 65: 352-355.
- MCRAE, J.C.; ARMSTRONG, D.G. 1968. Enzyme method for determination of alpha-linked glucose polymers in biological materials. *J. Sci. Food Agric.* 19: 578-581.
- MENDEZ, D.; DAVIES, P. 2001. El otoño y las bajas ganancias de peso. *Revista CREA* 246: 54-59.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE (MAyDS). 2017. Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina. [en línea]

<https://inventariogei.ambiente.gob.ar/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf> [consulta: marzo 2019]

- MINSON, D.J. 1981. Nutritional differences between tropical and temperate pasture. In: Morley, F H W. (ed.). *Grazing Animals*. Elsevier: Amsterdam, pp143-157.
- MOE, P.W.; TYRRELL, J.F. 1979. Methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 62: 1583-1586.
- MOE, P.W. 1981. Energy metabolism of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 64:1120-1139.
- MOLINA, I.C.; ANGARITA, E.A.; MAYORGA, O.L.; CHARÁ, J.; BARAHONA-ROSALES, R. 2016. Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of *Lucerna* heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. *Livest. Sci* 185: 24-29.
- MOSS, A.; JOUANY, J.P.; NEWBOLD, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 49: 231-253.
- MURRAY, P.J.; MOSS, A.; LOCKYER, D.R.; JARVIS, S.C., 1999. A comparison of systems for measuring methane emissions from sheep. *J. Agric. Sci.* 133: 439-444.
- MURRAY, R.M.; BRYANT, A.M.; LENG, R.A. 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *Br. J. Nut.* 36: 1-14.
- MYERS, S.E.; FAULKNER, D.B.; IRELAND, F.A.; PARRETT, D.F. 1999. Comparison of Three Weaning Ages on Cow-Calf Performance and Steer Carcass Traits. *J. Anim. Sci.* 77: 323-329.
- MYERS, S.E., FAULKNER, D.B., IRELAND, F.A., BERGER, L.L., PARRETT, D.F. 1999. Production Systems Comparing Early Weaning to Normal Weaning With or Without Creep Feeding for Beef Steers. *J. Anim. Sci.* 77: 300-310.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1984. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC. 103 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2000. *Nutrients requirements of beef cattle*. 7th rev. ed. Update 2000 National Academy Press: Washington, D.C. 242 p.
- NEITZERT, F. 1999. *Canada Greenhouse Gas Inventory: 1997. Emissions and removals with trends*. Environment Canada, Ottawa, ON. 149p.
- NKRUMAH, J.D.; OKINE, E.K.; MATHISON, G.W.; SCHMID, K.; LI, C.; BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; WANG, Z.; MOORE, S.S. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 145-153.
- O'HARA, P.; FRENEY, J.; ULYATT, M. 2003. *Abatement of agricultural non-carbon dioxide greenhouse gas emissions. A Study of Research Requirements*. Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington. 171p.
- O'MARA, F.P. 2011. The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166: 7-15.
- O'NEILL, B.F.; DEIGHTON, M.H.; O'LOUGHLIN, B.M.; MULLIGAN, F.J.; BOLAND, T.M.; O'DONOVAN, M.; LEWIS, E. 2012. Effects of a perennial ryegrass diet or total mixed ration diet offered to spring-calving Holstein-Friesian dairy cows on methane emissions, dry matter intake, and milk production. *J. Dairy Sci.* 94: 1941-1951.

- OGINO, A.; ORITO, H.; SHIMADA, K.; HIROOKA, H. 2007. Evaluating environmental impacts of the Japanese beef cow–calf system by the life cycle assessment method. *Anim. Sci. J.* 78: 424-432.
- OKINE, E.K.; MATHISON, G.W.; HARDIN, R.T. 1989. Effects of changes in frequency of reticular contractions on fluid and particulate passage rates in cattle. *J. Anim. Sci.* 67: 3388-3396.
- OMINSKI, K.H.; BOADI, D.A.; WITTENBERG, K.M. 2006. Enteric methane emissions from backgrounded cattle consuming all-forage diets. *Can. J. Anim. Sci.* 86: 393-400.
- ØRSKOV, E.R.; RYLE, M. 1990. *Energy Nutrition in Ruminants*. Elsevier; London, UK 149p.
- PATRA, A.K. 2016. Recent advances in measurement and dietary mitigation of enteric methane emissions in ruminants. *Front. Vet. Sci.* 3,39. doi: 10.3389/fvets.2016.00039.
- PAVAO-ZUCKERMAN, M.A.; WALLER, J.C.; INGLE, T.; FRIBOURG, H.A. 1999. Methane Emissions of Beef Cattle Grazing Tall Fescue Pastures at Three Levels of Endophyte Infestation. *J. Environ. Qual.* 28:1963-1969.
- PELCHEN, A.; PETERS, K.J. 1998. Methane emissions from sheep. *Small Rum. Res.* 27: 137-150.
- PEREA, A.R. 2015. Respuesta productiva a la suplementación con ensilajes de planta entera de maíz y sorgos, con y sin taninos, en novillitos en pastoreo. Tesis M. Sci. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. 55p.
- PERONE, C.R. 2015. Efecto de la suplementación proteica sobre el nivel de utilización de heno de agropiro alargado (*THINOPYRUM PONTICUM*) y el desempeño productivo en vacas de cría. Tesis M. Sci. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. 63p.
- PETERSON, G.A.; TURNER, T.B.; IRVIN, K.M.; DAVIS, M.E.; NEWLAND, H.W.; HARVEY, W.R. 1987. Cow and calf performance and economic considerations of early weaning of fall-born beef calves. *J. Anim. Sci.* 64: 15-22.
- PHAR, P.A.; BRADLEY, N.W.; LITTLE, C.O.; CUNDIFF, L.V. 1970. Effects of confinement and level of feed intake on digestibility of nutrients and excretion of chromic oxide, crude protein and gross energy in the bovine. *J. Anim. Sci.* 30: 589-592.
- PINARES-PATINO, C.S.; ULYATT, M.J.; LASSEY, K.R.; BARRY, T.N.; HOLMES, C.W. 2003. Persistence of differences between sheep in methane emission under generous grazing conditions. *J. Agr. Sci.* 140: 227-233.
- PINARES-PATIÑO, C.S.; LASSEY, K.R.; MARTIN, R.J.; MOLANO, G.; FERNANDEZ, M.; MACLEAN, S.; SANDOVAL, E.; LUO, D.; CLARK, H. 2011. Assessment of the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique using respiration chambers for estimation of methane emissions from sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166: 201-209.
- PINARES-PATIÑO, C.S.; WAGHORN, G.C.; MACHMÜLLER, A.; VLAMING, B.; MOLANO, G.; CAVANAGH, A.; CLARK, H. 2007. Methane emissions and digestive physiology of non-lactating dairy cows fed pasture forage. *Can. J. Anim. Sci.* 87: 601-613.

- PLACE, S.E.; PAN, Y.; ZHAO, Y.; MITLOEHNER, F.M. 2011. Construction and operation of a ventilated hood system for measuring greenhouse gas and volatile organic compound emissions from cattle. *Anim.* 1: 433-446.
- PORDOMINGO, A.J. 2002. La edad al destete, la fuente y el nivel de fibra en la dieta del ternero de destete precoz. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 22 (Sup 1): 1-13
- PORDOMINGO, A.J.; KENT, F.; PORDOMINGO, A.B.; VOLPI LAGRECA, G.; ALENDE, M. 2010. Efecto del nivel de alimentación en recría a corral sobre la respuesta animal en el pastoreo subsiguiente. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 30 (Sup 2): 131-141.
- PROVENZA, F.D., 2003. *Foraging Behavior: Managing to Survive in a World of Change.* Utah State University, Logan, Utah 63p..
- R version 3.1.2. Copyright (C) 2013. The R Foundation for Statistical Computing.
- REARTE, D.; PORDOMINGO, A.J. 2014. The relevance of methane emissions from beef production and the challenges of the Argentinean beef production platform. *Meat Sci.* 98: 355-360.
- RELLING, A.E.; MATTIOLI, G.A. 2003. *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes.* Argentina: Universidad nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Veterinarias, La Plata, Argentina, .pp.32-33.
- RICCI, P.; ROOKE, J.A.; NEVISON, I.; WATERHOUSE, A. 2013. Methane emissions from beef and dairy cattle: Quantifying the effect of physiological stage and diet characteristics. *J. Anim. Sci.* 91: 5379-5389.
- RICHARDS, M.W.; SPITZER, J.C.; WARNER, M.B. 1986. Effect of varying levels of postpartum nutrition and body condition at calving on subsequent reproductive performance in beef carrel. *J. Anim. Sci.* 62: 300-306.
- RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agri.* 44: 431-440.
- RIFFEL, S.; ELIZALDE, J.C. 2015. Resultados económicos de dos esquemas de recría y terminación a distintos pesos finales en un esquema de ciclo completo que incluye corrales de terminación [en línea]: <http://www.elizalderiffel.com.ar>. [Consulta: Abril 2018].
- ROMERA, A.J.; BURGESS, J.C.; MORRIS, S.T.; HODGSON, J.; WOODWARD, S.J.R. 2008. Modelling spring and autumn calving systems in beef herds of the Salado region of Argentina. *Livest. Sci.* 115: 62-72.
- ROTGER, A.; FERRET, A.; CALSAMIGLIA, S.; MANTECA, X. 2005. Changes in ruminal fermentation and protein degradation in growing Holstein heifers from 80 to 250 kg fed high-concentrate diets with different forage-to-concentrate ratios. *J. Anim. Sci.* 83: 1616-1624.
- ROY, J.H.B. 1970. *The calf: Management and feeding.* v.1, 3rd ed. Penn State University Press, London. 164p.
- RUSSELL, J.B.; WALLACE, R.J. 1997. Energy yielding and energy-consuming reactions. In: Hobson P.N., Stewart, C.S. (eds.) *The Rumen Microbial Ecosystem.* Springer, Dordrecht, pp. 246-282.

- SARMENTO, D.O.L. 2003. Comportamento ingestivo de bovinos em pastos de capim Marandú submetidos a regimes de lotação contínua. Dissertação M. Sci. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. Universidade Federal de São Paulo. 76 p.
- SATTER, L.D.; SLYTER, L.L. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *Br. J. Nut.* 32: 199- 208.
- SAWYER, J.E. MATHIS, C.P.; DAVIS, B. 2004. Effects of feeding strategy and age on live animal performance, carcass characteristics, and economics of short-term feeding programs for culled beef cows. *J. Anim. Sci.* 82: 3646-3653.
- SCHOONMAKER, J.P.; LOERCH, S.C.; FLUHARTY, F.L.; ZERBY, H.N.; TURNER, T.B. 2002. Effect of age at feedlot entry on performance and carcass characteristics of bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 80: 2247-2254.
- SCHOR, A.; GUIBELALDE, G.; GRIGERA NAÓN, J.J. 2005. Efecto de la fecha de destete sobre la performance de vientres y terneros. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 25: 179-188.
- SCHULTZ, C.L.; ELY, D.J.; AARON, D.K.; BURDEN, B.T.; WYLES, J. 2005. Comparison of an early and normal weaning management system on cow and calf performance while grazing endophyte-infected tall fescue pastures. *J. Anim. Sci.* 83:478-485.
- SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA (SENASA). 2018. Serie Histórica - Existencias Bovinas por categoría y departamento 2008-2016 [en línea] <http://www.senasa.gob.ar/serie-historica-existencias-bovinas-por-categoria-y-departamento-2008-2016>. [consulta: abril 2018].
- SOLLENBERGER, L.E.; BURNS, J.C. 2001. Canopy characteristics, ingestive behaviour and herbage intake in cultivated tropical grasslands. In: Gomide, J.A., Mattos, W.R.S., Da Silva, S.C. (eds.) *Proceedings of the 19th. International Grassland Congress, São Pedro, SP, Brazil*, pp.321-327.
- STETWART, A.A.; ALEMU, A.W.; OMINSKI, K.H.; WILSON, C.H.; TREMORIN, D.G.; WITTENBERG, K.M.; TENUTA, M.; JANZEN, H.H. 2014. Whole-farm greenhouse gas emissions from a backgrounding beef production system using an observation-based and model-based approach. *Can. J. Anim. Sci.* 94: 463-477.
- STORM, I.M.D.; HELLWING, A.L.F.; NIELSEN, N.I.; MADSEN, J. 2012. Methods for Measuring and Estimating Methane Emission from Ruminants. *Anim.* 2: 160-183.
- STORY, C.E.; RASBY, R.J.; CLARK, R.T.; MILTON, C.T. 2000. Age of calf at weaning of spring-calving beef cows and the effect on cow and calf performance and production economics. *J. Anim. Sci.* 78:1403-1413.
- TAKAHASHI, J.; CHAUDHRY, A.S.; BENEKE, R.G.; YOUNG, B.A. 1999. An open-circuit hood system for gaseous exchange measurements in small ruminants. *Small Rum. Res.* 32: 31-36.
- TAVENDALE, M.H.; MEAGHER, L.P.; PACHECO, D. WALKER, N.; ATTWOOD, G.T.; SIVAKUMARAN, S. 2005. Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123: 403-19.
- TEMPELMAN, R.J.; SPURLOCK, D.M.; COFFEY, M.; VEERKAMP, R.F.; ARMENTANO, L.E.; WEIGEL, K.A.; ...; VAN DE HAAR, M.J. 2015. Heterogeneity in genetic and nongenetic variation and energy sink relationships for residual feed intake across research stations and countries. *J. Dairy. Sci.* 98: 2013-2026.

- TERCEIRA Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. 2016. Sumário Executivo. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasília: 45 p.
- TROY, S.M.; DUTHIE, C.A.; ROSS, D.W.; HYSLOP, J.J.; ROEHE, R.; WATERHOUSE, A. 2016. A comparison of methane emissions from beef cattle measured using methane hoods with those measured using respiration chambers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 211: 227-240.
- TYRRELL, L. 2014. Estimación de la eficiencia de conversión alimenticia en rodeos de cría con distintos tipos de manejo. Monografía Especialista en Producción Animal. Universidad nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. 42p.
- ULYATT, J.; LASSEY, K.R.; SHELTON, I.D.; WALKER, C.F. 2002. Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass dominant pastures in midsummer in New Zealand. *J. Agr. Res.* 45: 227-234.
- UNGERFELD, E.M.; KOHN, R.A.; WALLACE, R.J.; NEWBOLD, C.J. 2007. A meta-analysis of fumarate effects on methane production in ruminal batch cultures. *J. Anim. Sci.* 85: 2556-2563.
- VAN SOEST, P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, N.Y. pp 156-177.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy. Sci.* 74: 3583-3597.
- VERGÉ, X.P.C.; DYER, J.A.; DESJARDINS, R.L.; WORTH, D. 2008. Greenhouse gas emissions from the Canadian beef industry. *Agric. Syst* 98: 126-134.
- VOGELS, G.D.; HOPPE, W.F.; STUMM, C.K. 1980. Association of methanogenic bacteria with rumen ciliates. *Appl. Env. Microb.* 40: 608-612.
- WAGHORN G. 2008. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production – progress and challenges. *Anim. Feed Sci. Technol.* 147:116-139.
- WAGHORN, G.; HEGARTY, R.S. 2011. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166: 291-301.
- WALLACE, R.J. 2004. Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. *Proc. Nutr. Soc.* 63: 621-629.
- WALLACE, R.J.; MCEWAN, N.R.; MCINTOSH, F.M.; TEFEREDEGNE, B.; NEWBOLD, C.J. 2002. Natural Products as Manipulators of Rumen Fermentation. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 15: 1458-1468.
- WASHBURN, L.E., BRODY, S. 1937. Growth and development with special reference to domestic animals. Methane, hydrogen, and carbon dioxide production in the digestive tract of ruminants in relation to the respiratory exchange. University of Missouri.. Agricultura Experiment Station. Research Bulletin, Nº. 263. 614 p.
- WEIMER, P.J. 1998. Manipulating ruminal fermentation: a microbial ecological perspective. *J. Anim. Sci.* 76: 3114-3122.

- WHITE, R.R., BRADY, M., CAPPER, J.L., MCNAMARA, J.P., JOHNSON, K.A. 2015. Cow-calf reproductive, genetic, and nutritional management to improve the sustainability of whole beef production systems. *J. Anim. Sci.* 93: 3197-3211.
- WILKERSON, V.A., CASPER, D.P., MERTENS, D.R. 1995. The prediction of methane production of Holstein cows by several equations. *J. Dairy. Sci.* 78: 2402-2414.
- WRIGHT, I.A., RUSSEL, A.J. 1987. The effect of sward height on beef cow performance and on the relationship between calf milk and herbage intake. *Anim. Prod.* 44: 363-370.
- WRIGHT, I.A., WHYTE T.K. 1989. Effects of sward surface height on the performance of continuously stocked spring-calving beef cows and their calves. *Grass Forage Sci.* 44: 259-266.
- YÁÑEZ-RUIZ, D., MACÍAS, B., PINLOCHE, E., NEWBOLD, C.J. 2010. The persistence of bacterial and methanogenic archaeal communities residing in the rumen of young lambs. *Microbiol Ecol* 72: 272-278.
- ZAVY, M.T., JUNIEWICZ, P.E., PHILLIPS, W.A., VONTUNGELN, D.L. 1992. Effect of initial restraint, weaning and transport stress on baseline and ACTH-stimulated cortisol responses in beef calves of different genotypes. *Am. J. Vet. Res.* 53: 551-557.
- ZIMMERMAN, P.R. 1993. System for Measuring Metabolic Gas Emissions from Animals. US Patent 5,265,618.