

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EMISIONES DE METANO Y CONSUMO DE VACAS DE
PRIMERA CRÍA BAJO DOS OFERTAS DE CAMPO NATURAL**

por

María Soledad ORCASBERRO VARELA

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magister en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Animales

MONTEVIDEO

URUGUAY

Agosto 2018

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. (PhD) Virginia Beretta, Ing. Agr. (PhD) Pablo Soca, Ing. Agr. (PhD) José Velazco, el 17 de agosto de 2018.
Autora: Ing. Agr. M^a Soledad Orcasberro. Directora: Ing. Agr. (PhD) Laura Astigarraga. Co-Directora: Ing. Agr. (PhD) Andrea Alvarez-Oxiley.

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mi hija Victoria.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su colaboración y soporte invaluable.

A la Ing. Agr. PhD Laura Astigarraga por su asesoramiento y apoyo durante toda la realización del trabajo.

A la Ing. Agr. PhD Andrea Alvarez-Oxiley por su colaboración.

A Cecilia Loza y Carlos Mantero, por su apoyo permanente y valiosa contribución y amistad.

Al Dr. José Gere del equipo de Físico Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas (Tandil, Argentina), por su imprescindible asistencia y excelente disposición durante las mediciones de metano.

A Cristina Cabrera, Amabelia del Pino y personal del laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía, especialmente Gabriela Arias y Shirley Furtado, por su colaboración en la etapa de procesamiento de muestras.

A Victoria Cal, Luciana Acosta, Camila Díaz y Carla García por su colaboración y apoyo en todas las instancias de toma de muestras en el campo y en el procesamiento de las mismas en el laboratorio.

A Pablo Soca, Valentín Picasso, Mariana Carriquiry, Martín Do Carmo y Martín Claramunt, por permitirme ser parte del proyecto y su colaboración en la evacuación de las dudas durante el procesamiento de la información.

Al personal de la sección Ganadería, Oscar y Mauricio Cáceres, Dorrel Bentancor y Baltazar Martínez, por su colaboración indispensable en la etapa de campo.

A Pablo Modernel y Nicolás Costa por su asistencia en las mediciones de disponibilidad de forraje y primera etapa de muestreo.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	VII
SUMMARY.....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES	2
1.1.1 <u>Cría vacuna en Uruguay</u>	2
1.1.2 <u>Contribución de los sistemas de cría a los GEI</u>	4
1.1.3 <u>Efecto de la dieta en las emisiones de CH₄ en sistemas pastoriles...</u>	5
1.1.4 <u>Estrategias para mejorar la productividad en campo natural</u>	8
1.2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	14
1.2.1. <u>Hipótesis</u>	14
1.2.2. <u>Objetivo general</u>	14
1.2.3. <u>Objetivos específicos</u>	14
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
2.1. MEDICIONES EN LAS PASTURAS	16
2.2. MEDICIONES EN LOS ANIMALES	17
2.2.1. <u>Peso, condición corporal</u>	17
2.2.2. <u>Consumo de forraje animal</u>	17
2.2.3. <u>Emisión de metano en vacas</u>	19
2.2.4. <u>Comportamiento en pastoreo</u>	21
2.3. ANÁLISIS QUÍMICOS	22
2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	23
3. <u>RESULTADOS</u>	25
3.1 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DURANTE EL ENSAYO	26
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA PASTURA	27
3.2.1. <u>Biomasa y altura de la pastura</u>	27

3.2.2. <u>Composicion quimica de la pastura en los períodos de medición..</u>	29
3.3. PESO VIVO Y CONDICIÓN CORPORAL.....	31
3.4. CARGA ANIMAL.....	32
3.5. DESEMPEÑO DE LA PROGENIE.....	34
3.6. DIGESTIBILIDAD Y CONSUMO.....	35
3.7. COMPORTAMIENTO EN PASTOREO.....	37
3.8. EMISIONES DE METANO.....	37
4. <u>DISCUSIÓN</u>.....	40
4.1 CARACTERISTICAS DE LAS PASTURAS Y DESEMPEÑO ANIMAL.....	40
4.2 CONSUMO Y EMISION DE METANO EN PASTOREO.....	44
5. <u>CONCLUSIONES</u>.....	53
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>.....	55
7. <u>ANEXOS</u>.....	77
7.1. ANEXO 1 Artículo: Effect of two forage allowances on dry matter intake and methane emissions of primiparous beef cows in continuous grazing on grassland.....	78
7.2. ANEXO 2 Cronograma de mediciones durante el experimento.....	96
7.3. ANEXO 3 Composición química de las heces en dos ofertas de forraje (AOF y BOF, promedio anual), en tres períodos de muestreo (P1: mayo, P2: agosto, P3: noviembre), en el año 2015.....	97
7.4. ANEXO 4 Estimación del consumo en base a CSIRO y NRC.....	99

RESUMEN

El uso de distintas prácticas de manejo ha demostrado que existe un gran potencial para reducir las emisiones del sistema cría a través de un manejo mejorado de la intensidad de pastoreo, pero no está cuantificado el impacto en variables ambientales relevantes como las emisiones de metano (CH_4). El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de dos asignaciones de forraje sobre las emisiones de CH_4 y el consumo (C) en vacas primíparas en pasturas nativas en Uruguay. El ensayo incluyó 40 vaquillonas, desde el segundo tercio de gestación hasta el destete, con dos tratamientos de oferta de forraje (OF, 8 y 5 kg de MS/kg de PV, promedio anual). Durante mayo (segundo tercio de gestación), agosto (gestación tardía) y noviembre (lactancia), se determinó la emisión de CH_4 con la técnica del trazador SF_6 y el C con óxido de cromo. Tanto la emisión diaria de metano (207 g/d, $P=0,35$) como el C (7,7 kg MO/d, $P=0,30$), no difirieron según la OF, lo que resultó en emisiones de CH_4 por kg de materia seca consumida (MSC) similares (23,6 g CH_4 /kg MSC, $P=0,15$) y rendimiento de metano (Y_m , 7,4, $P=0,12$). Del mismo modo, el peso vivo (PV, 346 kg, $P=0,5$) y la condición corporal (CC, 3,8, $P=0,51$) fueron similares entre los tratamientos. Sin embargo, todas las variables se vieron afectadas significativamente por el período de medición ($P \leq 0,0001$), con un marcado aumento en noviembre, excepto el Y_m ($P=0,14$), que se mantuvo similar a los valores observados en los períodos anteriores. Los resultados muestran que las emisiones de CH_4 y el C se vieron significativamente afectados por el período de medición, pero no por el nivel de OF utilizado en este estudio. Además, se consideran relevantes por ser los primeros datos obtenidos sobre emisiones de metano en vaquillonas gestantes en pasturas naturales en Uruguay.

Palabras clave: Vacas de cría, emisiones de metano, consumo, pastoreo.

**EFFECT OF TWO HERBAGE ALLOWANCES ON DRY MATTER INTAKE
AND METHANE EMISSIONS OF PRIMIPAROUS BEEF COWS IN
GRASSLAND**

SUMMARY

Improved grazing management has shown that there is great potential to reduce greenhouse gases emission produced by livestock, but the impact on relevant environmental variables such as methane emissions (CH₄) has not been quantified yet. Therefore, the aim of the study was to evaluate the effect of two forage allowance on CH₄ emissions and intake (I) in primiparous cows on native pastures in Uruguay. The trial included 40 heifers, from the second third of gestation until weaning, with two treatments of herbage allowance (HA, 8 and 5 kg DM/kg LW, annual average). During May (second third of gestation), August (late gestation) and November (lactation), CH₄ emission was determined with the SF₆ tracer technique and I was estimated using chromium oxide. Both daily methane emission (207 g/d, P=0.35) and I (7.7 kg OM/d, P=0.30), did not differ according to the HA, which resulted in similar CH₄ emission per kg of DMI (23.6 g CH₄/kg DMI, P=0.15) and methane yield (Y_m, 7.4, P=0.12). In the same way, live weight (LW, 346 kg, P=0.5) and body condition score (BCS, 3.8, P=0.51) were similar between treatments. However, all variables were significantly affected by the period of measurement (P ≤ 0.0001), with a marked increase in November, except for Y_m (P=0.14) that remained similar to the values observed in the previous periods of measurements. The results show that the CH₄ emissions and I were significantly affected by the period of measurement, but not by the level of HA used in this study. Besides, they are considered relevant since they are the first data obtained on methane emissions in pregnant heifers in natural grassland for Uruguay.

Keywords: Beef cows, methane emission, intake, grazing.

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería del Uruguay basa su competitividad exportadora en el campo natural, lo cual impulsa la búsqueda de herramientas que permitan incrementar la producción física, económica y sustentabilidad ambiental, sin aumentar los costos y la vulnerabilidad al cambio climático (Picasso, 2013). El país se encuentra ubicado en la región de Campos (Allen et al, 2011), la mayor unidad biogeográfica de pastizales nativos de América del Sur y una de las más importantes del mundo (Soriano, 1991; Carvalho et al., 2011a).

El área exclusivamente ganadera de Uruguay ocupa 12 millones de ha (75% de la superficie agropecuaria), donde existe un predominio absoluto del campo natural (92% de la superficie) y la mayor parte del mismo (8,3 millones de ha) se utiliza para la cría de bovinos de carne (6,6 millones de cabezas). Sumado a que del total de empresas especializadas en ganadería, el 76 por ciento presenta énfasis criador (Soca et al., 2013 a).

De acuerdo al último Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del 2004 (MVOTMA, 2010), el sector agricultura contribuyó de manera importante (80%) al total de emisiones de GEI, expresadas en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.), principalmente con aportes de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). El sector ganadero, y mayormente la producción de terneros, explica más del 70% de las emisiones de GEI del Uruguay (Becoña, 2012), según los factores de emisión utilizados por el IPCC (2006).

Sin embargo, estudios de estimación de las emisiones de GEI por kg de ganancia de peso vivo (Huella de carbono) y por hectárea, en los sistemas de cría en Uruguay, han demostrado que en la utilización de diferentes prácticas de manejo existe un gran potencial para reducir las emisiones de GEI del par vaca-ternero a través del manejo mejorado del pastoreo (Becoña et al., 2014).

Recientemente, nuevas tecnologías de manejo de la oferta de forraje en campo natural han mostrado resultados prometedores en productividad de carne por unidad de superficie (Soca et al. 2013 a), pero no está cuantificado el impacto en variables ambientales relevantes como las emisiones de CH₄ y el rendimiento de metano (Y_m) de vacas de cría durante la gestación y lactancia temprana en pastoreo de campo natural.

Por otro lado, las emisiones nacionales hasta el momento se han estimado en base a factores de emisión extraídos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (2001, 2007 y 2014), confeccionados a partir de datos obtenidos en la bibliografía internacional, los cuales no han sido avalados para los sistemas de producción de nuestro país.

Por estos motivos, en el presente trabajo se buscó obtener valores de emisión que reflejen uno de los principales sistemas de producción del país como es la cría vacuna sobre campo natural, para comenzar a obtener resultados locales que permitan en un futuro elaborar factores de emisión que representen las principales condiciones productivas del país, así como también evaluar el efecto de dos diferentes ofertas de forraje de campo natural en las emisiones de CH₄ y el consumo de materia seca de vacas de primera cría durante gestación y lactancia.

1.1. FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES

1.1.1. Cría vacuna en Uruguay

En Uruguay, la ganadería vacuna es una de las actividades agropecuarias de mayor valor económico y social. Los bovinos de carne representan más del 92,5% del stock nacional y en particular la cría vacuna ocupa el 54% de la superficie agropecuaria nacional (DIEA, 2013), involucrando 6,6 millones de cabezas y unos 8,3 millones de hectáreas.

Durante los últimos 20 años, la evolución del porcentaje de destete por DICOSE (ternero destetado/vaca entorada) demuestra que el valor medio es de 64 por ciento (Soca et al., 2007), el peso al destete entre 140 y 160 kg aproximadamente (Quintans, 2008) y solamente la mitad de las vaquillonas llega a ser entorada a los dos años (DICOSE, 2010).

Esta actividad se ha caracterizado por sustentar su producción en la utilización, casi exclusiva, de las pasturas naturales. Por lo tanto, el modelo de producción se basa en acompañar la demanda nutricional de los animales, con el ciclo y composición de las pasturas (Soca et al., 2007).

El bajo consumo de energía explica mayoritariamente el pobre estado nutricional de las vacas al parto e inicio del entore lo cual determina un largo periodo de anestro posparto, baja probabilidad de preñez y bajo porcentaje de destete que caracteriza la ganadería nacional (Soca y Orcasberro, 1992; Quintans, 2008; Soca et al., 2007). En vacas de cría con partos a inicio de primavera, los requerimientos se incrementan desde el otoño, siendo máximos a inicio de lactancia. La parición se lleva a cabo durante primavera lo cual explica el desacople entre requerimientos – crecimiento de forraje durante invierno y último tercio de gestación. La reducida relación masa de forraje/carga animal durante primavera-verano, resulta en baja altura de la pastura, lo que explica la baja ingestión de energía (en un momento de altos requerimientos por lactancia y reinicio de actividad sexual) y elevado costo energético por actividad de pastoreo (Soca, 2013).

Este desfasaje, genera un balance de energía negativo durante el último tercio de gestación y ha sido identificado como el principal factor que explica la baja condición corporal al parto, el largo del período parto-concepción y el bajo porcentaje de destete de los rodeos de cría en Uruguay (Soca y Orcasberro, 1992).

Este modelo de desacople entre requerimientos y consumo de energía ha sido estudiado tanto en vacas adultas como primíparas (Astessiano et al., 2014; Soca et al., 2013 b). La caída de condición corporal (CC) desde el parto al posparto temprano se explicó por el balance de energía negativo durante el último tercio de gestación en invierno e inicio de lactancia. Ésta pérdida de CC está asociada positivamente con la condición al inicio del invierno y negativamente con la altura del forraje (Trujillo et al., 1996).

A ello se suma la variabilidad climática dentro y entre años, que agrava las fluctuaciones en la oferta de nutrientes lo cual repercute en el consumo de energía del rodeo de cría y la capacidad de carga de las pasturas naturales (Soca et al. , 2007).

El sobrepastoreo ha causado evidente degradación de las pasturas, pérdida de biodiversidad y especies nativas, invasión por especies exóticas (por ejemplo *Cynodon dactylon*), erosión del suelo y contaminación del agua (Millot et al., 1987; Carvalho y Batello, 2009). La mejoría en la eficiencia de utilización del recurso forrajero puede contribuir a mejorar los indicadores reproductivos y productivos y a reducir las

intensidades en las emisiones de GEI (expresada por unidad de ternero destetado) de la fase criadora de la cadena cárnica.

1.1.2. Contribución de los sistemas de cría a los GEI

Dada esta ineficiencia en su ciclo productivo y a su alta relevancia a nivel nacional, la fase de cría tiene un peso relativo muy alto en las emisiones de GEI en Uruguay, ya que la mayor fuente en la producción de rumiantes es el CH₄ entérico que representa más del 50% de las emisiones de GEI de la fase primaria de producción de la cadena cárnica (Modernel et al. 2013, Becoña et al. 2014).

De acuerdo a un estudio realizado para estimar la huella de carbono¹ (HC) de tres sistemas agroexportadores en Uruguay (carne vacuna, láctea y arroceras), se constató a partir del análisis de los resultados y de acuerdo con la bibliografía internacional, que el sistema criador registra las mayores emisiones de GEI en comparación con los restantes sistemas evaluados (recrea o invernada). Según este estudio, aproximadamente el 55 % de la HC de la cadena cárnica, proviene de la etapa criadora. Dado el alto peso relativo de las emisiones en la fase primaria, la huella de carbono resulta muy dependiente de la eficiencia de los procesos y de las tecnologías aplicadas a nivel predial (Oyhantçabal et al., 2013). Siguiendo esta tendencia, estimaciones realizadas por Becoña et al. (2014), sobre las emisiones de GEI en los sistemas de cría en Uruguay en base al IPCC (2006), resaltan la importancia que tiene la utilización de medidas de manejo mejorado del pastoreo para reducir las emisiones de esta fase.

Sin embargo, la HC presenta varias limitantes que son de gran importancia principalmente en los sistemas de producción basados en pastoreo y cobra mayor relevancia en campo natural, dado que estas limitantes están asociadas a la falta de consideración de los beneficios ambientales e intercambios que se producen en los sistemas naturales.

Una de las principales limitantes es el secuestro de C en los suelos que puede ser altamente relevante en la reducción del CO₂ atmosférico y generalmente no se contabilizan pudiendo ser de gran importancia en los sistemas pastoriles. Además, existen relaciones contrapuestas importantes entre la HC y otras variables ambientales

¹ La HC refiere a las “emisiones totales de gases invernadero (expresada como CO₂-equivalente), de una unidad de producto a través de todo su ciclo de vida, desde producción de materias primas hasta disposición del producto terminado, excluyendo las emisiones por uso del producto” (BSI, 2008)

relevantes como balance de nutrientes en los sistemas y uso de energía fósil. El consumo de energía fósil es mayor a medida que aumenta el uso de insumos y el excedente por unidad de producto aumenta al aumentar la intensificación, por tanto al analizar el impacto ambiental expresado en uso de energía fósil o en el exceso de nutrientes con respecto a lo retenido, los sistemas quedan ordenados en sentido opuesto al presentado según el análisis de HC (Picasso et al., 2014). De esta forma los sistemas pastoriles poseen mayores beneficios ambientales y por tanto en el balance final se ven favorecidos frente a los sistemas de producción más intensivos basados en la utilización de insumos externos.

1.1.3. Efecto de la dieta en las emisiones de CH₄ en sistemas pastoriles

Los sistemas pastoriles en general, están desafiados a nivel ambiental por presentar mayores emisiones de metano por unidad de alimento consumido que los sistemas con alta proporción de concentrado en la dieta (Modernel et al. 2013).

La producción de CH₄ está altamente relacionada con la dieta consumida por el animal. Los animales que consumen mayor cantidad de forrajes, presentan tasas de producción de CH₄ superiores que aquellos con dietas con más proporción de concentrados (menor relación acético/propiónico) (Reid et al., 2004). Kamra et al., (2010), sugieren que existe una mayor producción de metano asociado a la alimentación con especies C₄, probablemente debido a un mayor contenido de carbohidratos no estructurales y lignina, menor consumo y tasa de pasaje más lenta (McAllister et al., 1996). En ambientes pastoriles complejos, como las pasturas naturales con predominancia de gramíneas de tipo C₄, es dable esperar una emisión de metano mayor por unidad de materia seca consumida (Machado, 2015).

Como puede apreciarse en el cuadro 1 los valores reportados para ganadería en sistemas pastoriles tanto a nivel regional como en el resto del mundo, refieren a animales de recría o vacas lecheras en pasturas mejoradas, por lo que la información para vacas de cría en campo natural es escasa.

Cuadro 1- Emisiones de metano de ganado en pastoreo reportadas a nivel internacional y nacional.

Alimentación	Niveles Oferta	Categoría	Método Medición	Variable	Valores Emisión (*)	Autores	Región-País
Pasturas Naturales	16; 12; 8.12; 8; 4 % PV	Vaquillonas	SF ₆	CH ₄ (g/día) (promedio)	16; 12; 8.12%: 148,1 a 8; 4%: 112,5 b	Machado, 2015	Río G.do Sul- Brasil
Campo natural (CN), CN fertilizado(CNF) y CNF y con agregado de semillas (CNFS)	12 % PV	Novillos	SF ₆	CH ₄ (g/día)	CN: 157.2 a CNF: 157.7 a CNFS:199.0 a	Moscat, 2015	Río G.do Sul- Brasil
				CH ₄ (g/kg MS)	CN: 37.7 a CNF: 31.5 a CNFS:32.5 a		
Pasturas mejoradas (PM) y pasturas semi-naturales (PSN)	No reportado	Novillos y vaquillonas	SF ₆	CH ₄ (g/día)	PM: 176 b PSN: 202 a	Richmond et al., 2015	Reino Unido
				CH ₄ (g/kg MS)	PM: 20.7 a PSN: 21.6 a		
				Ym (%)	PM: 6.0 a PSN: 6.5 a		
<i>Lolium perenne</i>	No reportado	Vaquillonas	Cámaras respiración	CH ₄ (g/día)	106 a 189	Jonker et al., 2016	Nueva Zelanda
				CH ₄ (g/kg MS)	22.1 a 25.8		
Pasturas	No reportado	Comparación vacas lecheras y carne	Metanálisis	CH ₄ (g/día)	216.2 (62.1-478.7)	Ricci et al., 2013	Reino Unido
				CH ₄ (g/kg MS)	20.6 (6.4-33.4)		
<i>Lolium y Trifolium</i>	No reportado	Novillos (23 meses)	SF ₆	CH ₄ (g/día)	169,9	Molano et al., 2006	Nueva Zelanda
				CH ₄ (g/kg MS)	17,3		
<i>Lolium perenne</i>	No reportado	Vacas lactando	SF ₆	CH ₄ (g/día)	171	Morrison et al., 2017	Reino Unido
				CH ₄ (g/kg MS)	19.5		
<i>Cynodon dactylon Paspalum notatum Lolium multiflorum</i> , con suplementación	No reportado	Vacas maduras (VM) vs Vaquillonas en crecimiento (VQ)	SF ₆	CH ₄ (g/día)	VM:165- 294 VQ: 89-180	De Ramus et al., 2003	Louisiana-EEUU
2 tipos de pasturas sembradas (Medicago+Bromus vs Bromus)	No reportado	Vaquillonas primíparas cruza	SF ₆	Ym	7.1 vs. 9.5%	McCaughey et al., 1999	Canadá

Alimentación	Niveles Oferta	Categoría	Método Medición	Variable	Valores Emisión	Autores	Región-País
2 pasturas con diferente valor nutricional (bajo vs alto)	No reportado	Vaquillonas	SF ₆	CH ₄ (g/día)	Invierno: 109 vs 160 Primavera: 164 vs 177	Dini et.al., 2017	Uruguay
				CH ₄ (g/kg MS)	Invierno: 23,6 vs 21,6 Primavera: 16,8 vs 14,3		
				Y _m (%)	Invierno: 7,9 vs 7 Primavera: 5,2 vs 4,2		

(*) valores con diferente letra difieren significativamente (P<0,05)

En el cuadro 1 se observa una gran variabilidad dependiendo del nivel de oferta o de los distintos tipos de pasturas, con valores que van desde 89 g CH₄/día en vaquillonas hasta 294 g CH₄/día en vacas adultas cruce con razas continentales. Cuando la emisión se expresa por kg de MS consumida, ésta varía desde 17 (pasturas de tipo C₃) a 38 g CH₄/día (en pasturas de campos del sur de Brasil).

Distintos manejos de las pasturas pueden alterar la estructura del pasto alterando la eficiencia de alimentación, impactando en la producción individual de CH₄ y de rendimiento de CH₄ (CH₄ *yield*, Y_m), dado que éste varía con la cantidad y calidad de energía del alimento ingerido (US-EPA, 1993).

La oferta de forraje ha sido identificada como la herramienta de manejo más simple y con mayor impacto en los sistemas pastoriles ligada a la eficiencia de uso del forraje (Holmes et al., 1984; Animut et al., 2005). Este manejo afecta directamente la estructura del forraje, el cual altera el consumo y la digestibilidad del forraje consumido, siendo decisivo en el desempeño animal y en las emisiones de CH₄ hacia la atmósfera (Machado, 2015).

La utilización responsable y el manejo de la pastura son la clave para mejorar el impacto ambiental de la producción de ganado (White et al., 2014). Estimaciones realizadas por Becoña et al. (2014) en Uruguay, reportaron un aumento de 22% en la producción de carne en los sistemas de cría y una reducción de 28% en las emisiones de GEI por kg de PV, cuando se mejora la eficiencia del pastoreo a través de una optimización en la producción de forraje y de la carga del sistema. Por tanto, el aumento de la productividad se presenta como una alternativa para disminuir las emisiones de la ganadería en los sistemas pastoriles.

1.1.4. Estrategias para mejorar la productividad en campo natural

La investigación dirigida a aumentar la productividad de la ganadería sobre campo natural ha seguido dos caminos. Por un lado, la intensificación tradicional que se refiere al uso de insumos externos como agregado de nutrientes con fertilizantes sintéticos y/o agregado de leguminosas (Picasso, 2013). Por otro lado, existe una vía

alternativa denominada “intensificación ecológica” (Titonell, 2014), basada en tecnología de procesos: manejo de la intensidad del pastoreo a través del manejo de la asignación del forraje y la carga animal, y conocimiento acerca de las interacciones planta-animal (Nabinger et al., 2009a). Sin embargo, existe poco conocimiento sobre el impacto de la “intensificación ecológica” sobre variables ambientales como las emisiones de CH₄ (Picasso, 2013).

Lograr la mayor cantidad de producto animal por unidad de superficie con el menor costo y riesgo económico posible, sin deteriorar los recursos naturales, ha sido el objetivo central de la línea de investigación planteada para mejorar la productividad de la cría vacuna en pastizal nativo por Soca et al. (2007).

Soca y Orcasberro (1992) en ensayos llevados adelante en Facultad de Agronomía de la Universidad de la República encontraron que es posible relacionar mejores condiciones corporales (CC) al momento del parto y segundo entore de vacas y vaquillonas, logradas mediante la mejora en la eficiencia del uso del campo natural, con un desempeño reproductivo del 80% de destete. Esta propuesta de bajo costo involucra conjuntamente la relación entre el manejo de la pastura y el animal, y propone utilizar la altura del forraje y la condición corporal como medidas para optimizar la eficiencia reproductiva de las vacas de cría en pastoreo de Campos (Figura 1).

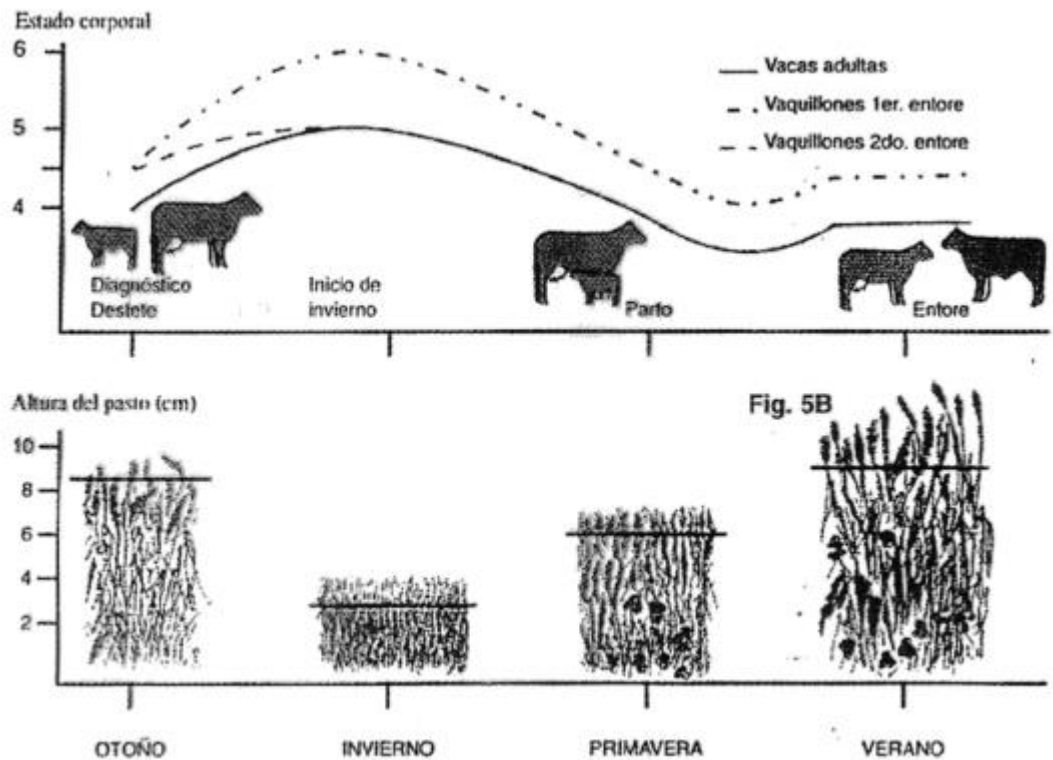


Figura 1-Relación entre el estado de condición corporal con la altura de la pastura para vacas de cría en pastoreo (Soca y Orcasberro, 1992).

Sin embargo en esta propuesta no se maneja el concepto de oferta de forraje como herramienta para controlar la intensidad de pastoreo, ni la eficiencia de uso del forraje en pastoreo y su interacción con la oferta.

El control de la cantidad de forraje asignado a través de la oferta de forraje, emerge como una herramienta de manejo para controlar el desacople entre requerimientos y consumo y reducir su efecto en el balance de energía del rodeo de cría (Soca et al., 2013c).

En sistemas pastoriles, orientados en base a la carga animal fija (número de animales por unidad de superficie), la variabilidad en la producción de forraje modifica permanentemente la cantidad de forraje diaria y estacional a la cual accede cada animal. Por el contrario, cuando se orienta el manejo del forraje en base a la

oferta de forraje, sin modificaciones en el área de pastoreo, la carga animal resulta en una variable de respuesta (Sollenberger et al., 2005).

Los experimentos para el bioma Campos que muestran conjuntamente los efectos de la oferta de forraje sobre la productividad de la pastura y animal son escasos y han utilizado como modelo animal la recría de machos (novillos) (Maraschin et al., 1997; Nabinger et al., 2000; Soares et al., 2003; Moscat , 2015) o hembras (vaquillonas de hasta 24 meses) (Soares et al., 2005; Da Trinidad, 2011; Machado, 2015), realizados en Río Grande del Sur, Brasil (Porto Alegre y Bagé). Los niveles diarios de oferta estudiados fueron: 16, 12, 8 y 4 (kg MS/100 kg de PV/día, o % PV), utilizados desde 1986. En el año 2000 se agrega otro tratamiento: 8-12, que significa que 8% es la oferta empleada en la primavera y 12% el resto del año.

Estos ensayos realizados por Moojen y Maraschin (2002) o Maraschin et al., (1997) con oferta fija anual, mostraron que al pasar de 4 a 12% (kg MS/100kg peso vivo) en la oferta de forraje, se logró una mejora en la masa de forraje de 900 a 1800 kg MS/ha y en la producción de MS de 1000 kg/ha/año. La máxima producción de forraje se obtuvo entre 8-13% de oferta. Además, permitió incrementar la producción de carne de 78 a 145 kg/ha/año y la eficiencia de uso de la radiación solar entre 0,009 a 0,017 (energía incidente/energía en la carne) (Nabinger et al., 2000).

Soares et al. (2005), constataron que ofertas muy bajas (4%) perjudican el desempeño animal individual y por unidad de superficie, pero el manejo combinado de ofertas de 8-12% promueven aumentos de 35% en el desempeño individual y un aumento del 20% en la producción por área en comparación con el manejo de 12% durante todo el año.

Ensayos realizados por Piaggio (1994) en la Estación Experimental de Facultad de Agronomía en Paysandú (EEMAC), en campo natural mejorado, mostraron que ofertas entre 7,5 y 10 kg de MS/100 kg de PV/día (entre 2,6 y 3,0 kg MS/kg PV, aproximadamente), maximizaron la producción animal por unidad de superficie y

animal respectivamente. Sin embargo, se encontró interacción entre la oferta y estación del año sobre la ganancia diaria de peso vivo lo cual fundamentó la necesidad de emplear ofertas de forraje variables entre estaciones del año. Por tanto, la oferta de forraje óptima presentó valores diferentes según la estación del año.

En función de estos antecedentes, más recientemente, trabajos nacionales han evaluado el efecto de la OF variable. En campos de Cerro Largo, en la Estación Experimental de Facultad de Agronomía (EEBR), se llevó adelante un experimento de mediano a largo plazo con el objetivo de estudiar el efecto de dos ofertas de forraje (2,5 y 4 kg MS/kg PV, promedio anual) y el grupo genético (Puro vs Cruza) de la vaca de cría sobre la productividad y eficiencia de uso de la energía de la cría vacuna (Do Carmo, 2013; Soca et al., 2013c). Como resultado de una mayor oferta en los tratamientos de alta (4 kg MS promedio anual/kg PV), se incrementó la masa de forraje (1860 vs 1140 ± 114 kg MS/ha) y la tasa de acumulación de forraje ($14,7$ vs $12,1 \pm 1,7$ kg MS/ha/día) (Do Carmo, 2013). La reducción del tiempo diario de pastoreo y cambios en el patrón espacial de distribución del forraje, habrían contribuido a reducir los requerimientos de energía para pastoreo y explicar la mejora en la condición corporal del grupo con alta oferta de forraje (Scarlatto, 2011; Soca et al., 2013c). Esto mejoró la eficiencia en el uso de la energía y la producción por vaca y por unidad de área, mediante un aumento de 6% en la tasa de destete y 15 kg del peso de los terneros al destete sin reducciones en la carga animal (Do Carmo, 2013). Es posible que los cambios en la estructura de la pastura asociados a una mayor biomasa por unidad de superficie, mejorara la eficiencia de uso de la energía en las vacas del grupo de alta oferta, como lo indican las concentraciones de hormonas metabólicas, niveles de producción de leche y retorno a la ciclicidad ovárica (Laporta et al., 2014).

Otro experimento similar llevado a cabo en campos de basalto en la Estación Experimental de Facultad de Agronomía en Salto (EEFAS), también evaluó el efecto de dos niveles de oferta de forraje (Bajo: 2,5 y Alto: 4 kg MS promedio anual /kg PV) en vacas primíparas, sobre la biomasa y composición química del forraje, carga animal, consumo estimado de forraje por vaca y por área, condición corporal,

porcentaje de preñez, intervalo parto concepción, peso del ternero ajustado a los 205 días, producción de carne por vaca y por unidad de superficie (Claramunt, 2015). El aumento de la oferta y el incremento de la biomasa/ha en el tratamiento de alta oferta durante otoño, mejoró la condición corporal al final de dicha estación y al parto. A su vez, presentó mayor peso de los terneros a los 205 días, disminuyó el intervalo parto-concepción y aumentó la probabilidad de preñez, con tendencia a reducir la carga animal (Claramunt, 2015). El consumo estimado presentó relación con la biomasa de forraje lo cual coincide con los modelos regionales planteados (Carvalho et al., 2011b, Genro et al., 2012). Dichos modelos reportan una relación inversa entre los niveles de oferta con el tiempo diario de pastoreo lo que podría reducir los requerimientos de energía para cosecha de forraje (Carvalho et al., 2011b, Scarlato et al., 2012).

El aumento de la oferta de forraje mejoró la respuesta reproductiva, productiva y la eficiencia global de uso de la energía para producción de carne, y podría contribuir a atenuar los efectos negativos de la variabilidad climática con mejoras del resultado físico-económico de la cría vacuna en Campos (Claramunt, 2015). A su vez esta reducción en la intensidad de pastoreo podría cambiar el balance de carbono y permitiría transformar un sistema emisor a un sistema fijador de carbono (Schonbach et al., 2011; Carvalho et al., 2011a, Soca et al., 2013d).

1.2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1.2.1. Hipótesis

Sistemas de cría vacuna en campo natural manejados con una mayor oferta de forraje (mayor biomasa y menor intensidad de pastoreo), presentan un mejor desempeño productivo, mayor consumo y permite reducir las emisiones de metano por unidad de MS ingerida.

1.2.2. Objetivo general

Evaluar el desempeño productivo (PV,CC) y estimar las emisiones de CH₄, el consumo de materia seca y los factores de emisión (Y_m, CH₄/kg MS) de vacas de cría durante la gestación media, tardía y lactancia, en pastoreo continuo de campo natural en dos OF de forraje (OF variable según estación del año).

1.2.3. Objetivos específicos

Analizar la evolución del peso vivo y la condición corporal de vacas de cría en dos ofertas forrajeras de campo natural.

Estimar el consumo de materia seca de vacas de cría en dos ofertas forrajeras de campo natural.

Estimar las emisiones de metano por kg de MS consumida y por vaca, en dos ofertas de forraje de campo natural.

Generar factores de emisión de metano de vacas de cría durante la gestación y la lactancia en pastoreo en campo natural en Uruguay.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Bernardo Rosengurt, Cerro Largo, Uruguay (32°35' Latitud S y 54°15' Longitud W). El mismo forma parte de un experimento de largo plazo que comenzó en el año 2007, trabajando con ofertas promedio anual de 2,5 y 4 kg MS/kg PV. A partir de abril del año 2015, los 2 tratamientos de oferta de forraje (Sollenberger et. al., 2005) aumentaron a: 8 kg MS/kg peso vivo (Alta Oferta: AOF) y 5 kg MS/kg peso vivo (Baja Oferta: BOF), promedio anual.

Estos tratamientos tuvieron variaciones estacionales: en otoño se trabajó con 8 y 4 kg MS/kg peso vivo, invierno 4 y 4 kg MS/kg peso vivo, primavera 12 y 8 kg MS/kg peso vivo y verano 8 y 4 kg MS/kg peso vivo, AOF y BOF respectivamente.

Se evaluaron 40 vacas primíparas gestantes Hereford y Aberdeen Angus (20 por tratamiento), bajo pastoreo continuo, desde abril del 2015 hasta abril del 2016.

El ajuste de la oferta se realizó mensualmente, a través de la evaluación del forraje disponible por el método de doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975), cuantificando además el peso (PV) y la condición corporal (CC) de los animales, para alcanzar la relación entre oferta de MS y cantidad de animales (en kg), establecida como meta en cada estación.

Los tratamientos de oferta de forraje fueron aplicados a través de la metodología “put and take” (Mott, 1960), variando el número de animales volantes y manteniendo el número de animales fijos por parcela. Las volantes fueron de la misma raza, similar tamaño, peso corporal, y estado fisiológico que las experimentales.

La carga animal (kg PV/ha) se estimó como el promedio entre dos ajustes de oferta de forraje consecutivos, incluyendo el PV de las vacas experimentales y las vacas volantes agregadas para dicho ajuste.

Las mediciones de metano y consumo se realizaron en 3 períodos del año 2015: mayo (otoño: segundo tercio de gestación), agosto (invierno: máximo balance energético negativo) y noviembre (primavera: lactancia). En el Anexo 2 se presenta el cronograma de las mediciones realizadas durante todo el experimento.

La parición se produjo entre fines de agosto a principios de octubre. El entore se realizó desde el 28 de diciembre hasta el 29 de febrero, con destete temporario y “flushing”. El destete temporario se realizó durante 11 días (del 28 de diciembre al 7 de enero), con tablilla y el “flushing” a las madres se realizó con 2 kg/animal/día de afrechillo de arroz durante 20 días, comenzando el mismo día de la colocación de las tablillas. El destete definitivo se realizó el 12 de abril, con un promedio de 210 ± 15 días post-parto.

Para el cálculo de kg de ternero por vaca se utilizó un factor de corrección de 0,7 en AOF y 0,6 en BOF, que fue la proporción de terneros que llegaron al destete en cada tratamiento.

El diseño del experimento fue de bloques completos generalizados con 2 bloques que representan tipos de suelos contrastantes: Bloque 1 (suelos arenosos Zapallar) y Bloque 2 (suelos pesados Fraile Muerto, Brunosoles del noreste) y dos réplicas por bloque (Alta 1 y 2; Baja 1 y 2). El área del Bloque 1 fue de 59 ha: 19 ha (Alta 1), 19 ha (Alta 2), 9 ha (Baja 1) y 12 ha (Baja 2) ha. El área del Bloque 2 fue de 48 ha: 13 ha (Alta 1), 14 ha (Alta 2), 11 ha (Baja1) y 10 ha (Baja 2).

La composición botánica de la pastura está dominada por: *Axonopus affinis*, *Oxalis sp.*, *Cyperus sp.*, *Cynodon dactylon*, *Eryngium nudicaule*, *Gaudinia fragilis*, *Chevreulia sarmentosa*, *Stipa setigera*, *Paspalum notatum* y *Coelorhachis selloana* (Do Carmo, 2013).

2.1. MEDICIONES EN LAS PASTURAS

La masa disponible de forraje (kg MS/ha) se calculó mensualmente, mediante el método de rendimientos comparativos (Haydock y Shaw, 1975), con una escala visual de 5 puntos y 3 sitios similares por cada punto de escala, cortado a nivel del

suelo en cuadrantes de 0,25 m². Esta escala se repitió en cada parcela y en cada bloque donde se realizó el muestreo. Luego se calificaron 100-150 cuadrantes seleccionados al azar en cada unidad experimental. Las muestras de forraje se secaron en una estufa de aire forzado a 60° C hasta peso constante, para relacionar la masa de forraje con la escala visual.

Simultáneamente, en las mismas unidades de muestreo, se midió la altura (cm) de la pastura con regla en el punto de máxima concentración de la pastura (Hodgson, 1990), para la cuantificación de la masa de forraje disponible.

2.2. MEDICIONES EN LOS ANIMALES

2.2.1. Peso, condición corporal

Mensualmente se determinó la condición corporal de las vacas por apreciación visual (escala de 1 al 8, Vizcarra et al., 1986) y se registró el peso vivo. El sexo y el peso vivo del ternero se registraron la primera mañana después del nacimiento, y luego se pesaron todos los meses hasta el destete. El PV de las vacas y los terneros se determinó por la mañana sin ayuno (Coates y Penning, 2000) en balanza electrónica. Posteriormente el PV de las madres fue corregido por peso del feto según días de gestación (Ferrell et.al, 1976), calculados en base a la fecha de parto y asumiendo 280 días de gestación para todas las vacas. La fecha de parto promedio se ubicó el 14 de setiembre±15 días.

2.2.2. Consumo de forraje animal

El consumo de forraje se determinó con la técnica de doble marcador utilizando el Óxido de Cromo (Cr₂O₃) como marcador externo para la estimación de la producción de heces y Nitrógeno fecal (Nf) y Fibra Detergente Ácido fecal (FDAf) como indicadores internos para la estimación de la digestibilidad de la MO de la pastura consumida.

El indicador más utilizado en condiciones de pastoreo para la determinación del consumo a través de la excreción fecal es el óxido de cromo (Cr₂O₃). Las ventajas del mismo residen entre otras en el bajo costo, ser fácilmente incorporable a

la dieta y la relativa simplicidad de los procedimientos analíticos (Morenz et al., 2006). A su vez, el estrés de los animales puede ser reducido dosificando los animales una sola vez por día (Carvalho et al., 2007).

Las características requeridas para que una sustancia sea utilizada como indicador de la producción fecal son que sea totalmente recuperado en las heces y que no presente variaciones diurnas o diarias en la excreción. Esta técnica asume una completa recuperación del indicador (Piaggio, 1994).

La técnica de administración continua de un indicador externo se basa en la premisa de que dosificando un animal con una cantidad constante diaria del indicador, por un período suficiente de tiempo como para establecer un equilibrio en la concentración del mismo en cualquier lugar de muestreo (heces en este caso), el animal excretará la misma cantidad ingerida. Así, se admite que la concentración en una muestra fecal puede ser representativa de la concentración en toda la materia seca fecal. De esta manera, la excreción fecal puede ser calculada a partir de la relación de la cantidad del indicador consumida en gramos por día y su concentración en las heces en gramos por kilogramo de materia seca, como lo muestra la siguiente ecuación (Piaggio, 1994):

$$\text{Heces (kg MS/d)} = \text{Indicador consumido (g/d)} / \text{Indicador en las heces (g/kg MS)}$$

A partir de dicha ecuación, el consumo de materia seca (CMS) se calcula como:

$$\text{Consumo (kg MS/d)} = \text{Heces (kg MS/d)} / 1 - \text{Digestibilidad}$$

La concentración de óxido de cromo en las heces alcanza el equilibrio 6 a 7 días después de la administración de la dosis inicial, y su tasa de recuperación puede considerarse como 100% (Cross et al., 1973; Barthiaux-Thill et al., 1978; Chamberlain y Thomas, 1983; Melix y Peyraud, 1987). Además, no hay discrepancia en la tasa de recuperación entre diferentes animales y entre períodos de medida (Melix y Peyraud, 1987), por lo cual las comparaciones del consumo en pastoreo no

están sesgadas por el uso del óxido de cromo para estimar la excreción fecal (Astigarraga, 1997).

En este ensayo se dosificó una vez por día con 10 g de Cr_2O_3 desde el día 1 del período experimental, con el objetivo de alcanzar un estado de equilibrio a nivel ruminal (período de estabilización del marcador). Dentro del período se realizaron dos muestreos de 5 días cada uno. La colecta de las heces se realizó diariamente, desde el día 8 al 12 de cada subperíodo experimental.

Cada una de las colectas fue identificada y secada en estufa de aire forzado a 60°C durante 96 h hasta peso constante y molidas en molino con malla de 1 mm para posteriormente determinar MS y concentración de óxido de Cr por espectrofotometría de absorción atómica.

Para la estimación de la digestibilidad de la materia orgánica (MO) de la pastura consumida se utilizaron el Nitrógeno fecal (Nf) y la Fibra Detergente Ácido fecal (FDAf) como indicadores internos.

La ecuación utilizada para los cálculos fue ajustada por Comeron y Peyraud (1993):

$$DMO = 0,791 + 0,0334Nf - 0,0038FDAf (R^2 = 0,89)$$

Dónde: *DMO* es la digestibilidad de la MO (g/ kg), *Nf* es la concentración de nitrógeno de la MO fecal (g/kg MO) y *FDAf* es la concentración de fibra detergente ácido en la MO fecal (g/kg MO).

2.2.3. Emisión de metano en vacas

Las emisiones de metano se midieron utilizando la técnica del hexafluoruro de azufre (SF_6) como gas trazador para estimar la producción entérica de CH_4 , la cual permite la cuantificación de las emisiones de CH_4 de animales individuales en pastoreo (Lassey et al. 1997, Johnson et al. 1994).

El desarrollo de esta técnica se fundamenta en el conocimiento de que aproximadamente el 95% del CH₄ ruminal (87% de la producción total) es eructado y que el 89% del CH₄ generado en intestino grueso (11% del total) se elimina a través de los pulmones. Así, aproximadamente el 99% de la producción total de CH₄ es exhalado por boca y nariz (83% por eructación y 16% por exhalación) (Murray et al., 1976).

El SF₆ es utilizado para estimar la tasa de emisión de metano de la boca y los orificios nasales, dado que la tasa de dilución es muy similar a la del metano y no es tóxico para el animal. Previo a la medición de las emisiones de metano *in vivo*, se preparan pequeñas cápsulas de permeación conteniendo SF₆ líquido en el laboratorio. Luego estas cápsulas con una tasa de liberación conocida, son colocadas en el rumen mediante un lanza bolos ruminal. El trazador se acumula en el rumen y es liberado en los eructos junto con el CH₄ (Johnson et al., 1994). El SF₆ permite relacionar la concentración en el gas colectado con la tasa de liberación. Ello significa que si la cantidad total de trazador liberada en el lapso de muestra es conocida, multiplicando esta cantidad por la razón de las concentraciones CH₄/SF₆ en la muestra recolectada (descontando previamente las concentraciones de base (BG) se obtiene la emisión de CH₄ en el mismo lapso. De esta manera, la emisión (*Em*) estaría dada por la siguiente ecuación (Gere, 2012):

$$Em = TPER * ([CH_4] - BG_{CH_4}) / ([SF_6] - BG_{SF_6})$$

Dónde: *TPER* es la tasa de permeación de SF₆ de la cápsula, [CH₄] y [SF₆] son las concentraciones de estos gases (en ppm y ppt, respectivamente) en las muestras colectadas y BG es la concentración base de CH₄ y SF₆.

La técnica original, desarrollada por Johnson et al. (1994) consiste en coleccionar aire a pocos centímetros del ollar del animal durante un lapso de tiempo establecido (aprox. 24 h), donde el efecto de las liberaciones ruminales, conduce a que en la muestra recolectada la concentración de CH₄ sea mayor que en una muestra de aire “puro”. Sin embargo, se han hecho adaptaciones a la técnica para experimentos con animales en pastoreo en tiempos mayores a los estipulados en la metodología

original, donde se emplean los recipientes recolectores de acero inoxidable de 0,5 L como recipientes de muestreo y el ingreso de la muestra es regulado mediante dispositivos ajustables (Gere y Gratton, 2010; Gere et al., 2012; Dini et al., 2012; Loza, 2017)

La técnica del SF₆ permite a los investigadores estimar las emisiones de metano de los rumiantes en sus hábitats naturales, como las pasturas al aire libre, sin necesidad de encierros. A su vez, los muestreos de varios días favorecen el bienestar animal, simplifican la logística en el campo, y reducen el número de muestras necesarias para el análisis (Gere et al., 2012).

Previo al inicio del período experimental (10 días antes), se colocó a cada uno de los animales una cápsula emisora de SF₆ (con una tasa de permeación diaria promedio de $3,53 \pm 0,2712$ mg/d), utilizando un lanza bolo ruminal. Se colocaron 2 recipientes de recolección de acero inoxidable de 0,5 L de volumen, por animal, para aumentar la eficiencia de muestreo. Cada par de recipientes permaneció en el animal durante los 5 días de muestreo según la técnica de Johnson et al. (1994) adaptada por Gere y Gratton (2010) y utilizada por Dini et al (2012) y Loza (2017). Los cilindros eran limpiados con gas nitrógeno de alta pureza (N₂) y pre-evacuados antes de cada período de muestreo. Los restrictores de flujo fueron calibrados para permitir una entrada en el cilindro de entre 400 y 700 mb al final del período de colecta.

Además de las muestras colectadas de los animales, se colectó una muestra de aire atmosférico en la proximidad de las parcelas experimentales para determinar el nivel base de CH₄.

Las muestras de gases se tomaron durante dos sub-períodos de 5 días en cada período de medición (en los días 10 a 14 y 16 a 20). Al final del primer sub-período (5días), se sustituyó el juego de recipientes recolectores por otro par (por animal). Las muestras se analizaron inmediatamente después de finalizar cada período experimental.

Luego de tener los análisis cromatográficos de las muestras, la emisión de CH₄ por animal se calculó utilizando la tasa de liberación de la cápsula de SF₆ y los resultados obtenidos de la concentración de CH₄ y SF₆.

2.2.4. Comportamiento en pastoreo

En el tercer período de mediciones, se registró el comportamiento en pastoreo de los animales en dos subperíodos de muestreo, durante cuatro días, (4 registros por animal, 25-26 de noviembre y 18-19 de diciembre). Se observó a los animales en la parcela, registrando cada 5 min el comportamiento (ingestión, rumia, descanso) desde la salida hasta la puesta del sol (14 horas).

2.3. ANÁLISIS QUÍMICOS

En el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía (Universidad de la República), se determinó el contenido de materia seca analítica (MS) de las muestras de forraje y de heces por secado a 105 °C durante 24 h, que luego fueron molidas en molino y tamizadas con malla de 1mm.

Las muestras de forraje para composición química representativas de cada tratamiento en cada período de medición se compusieron utilizando las muestras de pastura de cada punto de la escala medido por la frecuencia visual obtenida en la medición de la masa de forraje. En cada muestra se determinó el contenido de cenizas (C) en un horno de Mufla a 600 °C durante tres horas y la proteína bruta (PB) por el método Kjeldahl según AOAC (1990). El contenido de fibra detergente neutro (aFDN_{mo}) se determinó sin sulfito de sodio y con amilasa estable al calor. La fibra detergente ácido (FDAmo) y lignina detergente ácido (lignina) fueron analizadas con tecnología Ankom (Fiberanalyzer 200, AnkomTechnologyCorporation, Fairport, N.Y.) de forma secuencial (corregido por cenizas) por el método de Van Soest et al. (1991). La Energía bruta se procesó utilizando una bomba calorimétrica adiabática (Gallenkamp Autobomb; Loughborough, Leics, Reino Unido).

La concentración del cromo en heces se midió por espectrometría de absorción atómica (Perkin-Elmer 2380, Norwald, Connecticut, USA) usando una llama de

acetileno según los procedimientos descritos por William et al. (1962). Los estándares de cromo se realizaron utilizando muestras fecales extraídas previo al inicio del ensayo.

Las concentraciones de CH₄ y SF₆ se calcularon por cromatografía gaseosa en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía. Para CH₄ se utilizó un loop de 3 ml, una columna HP-PLOTQ y un detector de ionización de llama. Los picos de CH₄ cuantificables se comparan contra un estándar de concentración conocida. Para el SF₆ se utiliza un loop de 10 ml, una columna HPMOLSIV y un detector de captura electrónica. Los estándares para la calibración se realizaron a partir de patrones diluidos en aire sintético en un intervalo de 1,5 a 44 ppm y 25 a 250 ppt para CH₄ y SF₆ respectivamente.

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Todas las mediciones realizadas en los animales y en las pasturas se analizaron de acuerdo a un diseño de bloques generalizados con 2 bloques que representan tipos de suelos diferentes, usando el PROC MIXED del paquete estadístico SAS (2001).

Para las variables registradas durante los tres períodos de mediciones (CMS, CH₄, CH₄/kg MS e Ym) se ajustó un modelo lineal mixto (MLM) con efectos fijos del tratamiento T_i (oferta de forraje con 2 niveles: 8 y 5 kg MS/kg PV, media anual), del período de medición P_j (3 niveles: mayo agosto y noviembre), interacción Tratamiento por Período $(T*P)_{ij}$, efecto del genotipo G_k (HH, AA) y su interacción con el tratamiento $(T*G)_{ik}$, efecto del bloque β_l (1,2), su interacción con el tratamiento $(T*\beta)_{il}$, un efecto aleatorio de la vaca A_s para contemplar las correlaciones entre los datos registrados en distintos momentos sobre un mismo animal y el error experimental ε_{ijkl} , independiente e idénticamente distribuido $(0, \delta^2)$.

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + P_j + (T*P)_{ij} + G_k + (T*G)_{ik} + \beta_l + (T*\beta)_{il} + A_s + \varepsilon_{ijkl}$$

Estas variables se analizaron como medidas repetidas en el tiempo, con covarianza no estructurada (unstructured) (Littel et al., 2000).

Para las mediciones realizadas mensualmente (PV y CC), se utilizó el mismo modelo pero con 12 meses de observación y se analizaron como medidas repetidas en el tiempo, con una estructura de covarianza autorregresiva de orden 1 (AR (1)) (Littel et al., 2000).

Para los terneros se utilizó un modelo similar, analizándose como medidas repetidas en el tiempo, donde Y_{ijklm} es la variable bajo consideración (peso); μ es el efecto medio total; T_i es el efecto fijo del tratamiento ($i=1$ y 2); β_j es el efecto fijo del bloque ($j=1$ y 2); A_k es el efecto animal (analizado como efecto aleatorio) ($k = 1$ a 26); DPP_l es el efecto fijo de los días post parto ($l= 0$ hasta 220); S_m es el efecto fijo del sexo ($i=1$ y 2); $(T*DPP)_{il}$ es el efecto de la interacción tratamiento y días post parto y ε_{ijklm} es el término experimental del error.

$$Y_{ijklm} = \mu + T_i + \beta_j + A_k + DPP_l + S_m + (T*DPP)_{il} + \varepsilon_{ijklm}$$

Para comportamiento en pastoreo se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijls} = \mu + T_i + P_j + (T*P)_{ij} + \beta_l + (T*\beta)_{il} + A_s + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde: Y_{ijls} es la variable bajo consideración; μ es el efecto de la media general; T_i es el efecto del tratamiento; P_j es el efecto del período de medición (2 niveles), interacción Tratamiento por Período $(T*P)_{ij}$, efecto del bloque β_l (1,2), su interacción con el tratamiento $(T*\beta)_{il}$, un efecto aleatorio de la vaca A_s , y ε_{ijk} como término del error experimental.

Para biomasa y altura, registradas mensualmente, se ajustó un modelo lineal mixto (MLM) con efectos fijos del tratamiento T_i (oferta de forraje con 2 niveles: 8 y 5 kg MS/kg PV, media anual), del Período de medición P_j (12 niveles: mayo 2015 a abril 2016), interacción Tratamiento por Período $(T*P)_{ij}$, efecto fijo del bloque β_k (1,2), su interacción con el tratamiento $(T*\beta)_{ik}$ y el error experimental ε_{ijk} independiente e idénticamente distribuido ($0, \delta^2$).

$$Y_{ijl} = \mu + T_i + P_j + (T*P)_{ij} + \beta_l + (T*\beta)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Tanto biomasa como altura se analizaron como medidas repetidas en el tiempo, con una estructura de covarianza autorregresiva de orden 1 (AR (1)) (Littell *et al.*, 2000).

Para todos los análisis, tanto en los animales como en la pastura, el nivel de significancia utilizado para todas las variables fue de 5%. El efecto del Bloque y el Genotipo fueron analizados pero no fueron incluidos en el modelo final por no encontrarse diferencias estadísticamente significativas. Por lo tanto, en el trabajo se presentan las medias por tratamiento, por período y su interacción, utilizando el test de comparación de medias de la Diferencia Mínima Significativa (DMS).

3. RESULTADOS

3.1. CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DURANTE EL ENSAYO

Las precipitaciones mensuales durante el año 2015 en la EEBR, en promedio, alcanzaron valores 12 % inferiores a la media histórica para la Estación Meteorológica de la ciudad de Melo (102 vs 116 mm/mes) (Cuadro 2).

Cuadro 2- Promedio anual de precipitaciones y temperatura en el año 2015 y promedio histórico (1981-2014), de la ciudad de Melo.

Período	PP (mm)	TMAX (° C)	TMIN (° C)	TMED (° C)
1981-2014	1394	23,6	11,8	17,7
2015	1173	23,9	12,3	18,1

Fuente: INUMET 2016

En agosto y octubre, las lluvias estuvieron muy por encima de lo normal (188% en promedio). En el año 2016, durante el verano las precipitaciones fueron muy escasas, recuperándose las mismas recién durante el mes de marzo, con un total mensual superior (38%) a los valores históricos (Figura 2).

La temperatura mensual fue similar a la histórica (Figura 2), aunque durante el mes de agosto de 2015 la mínima fue un 50% superior y la máxima superó en un 10% a la esperada (cuadro 2).

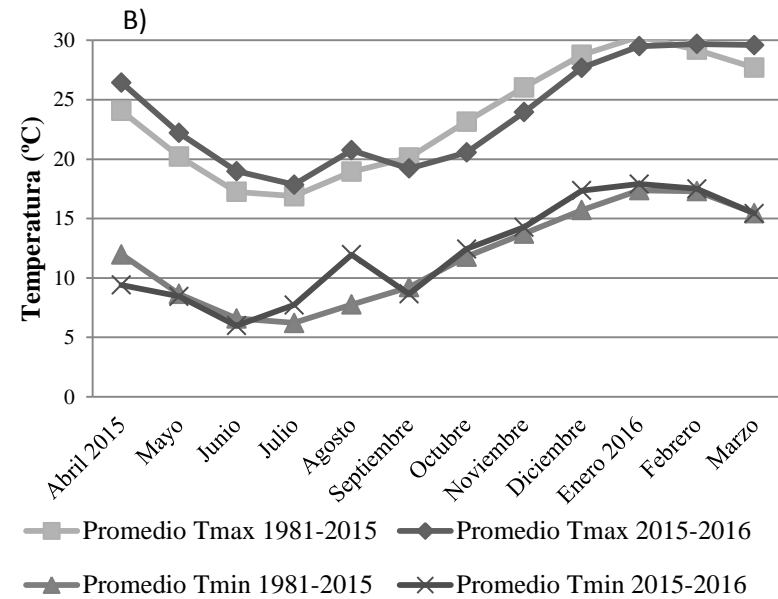
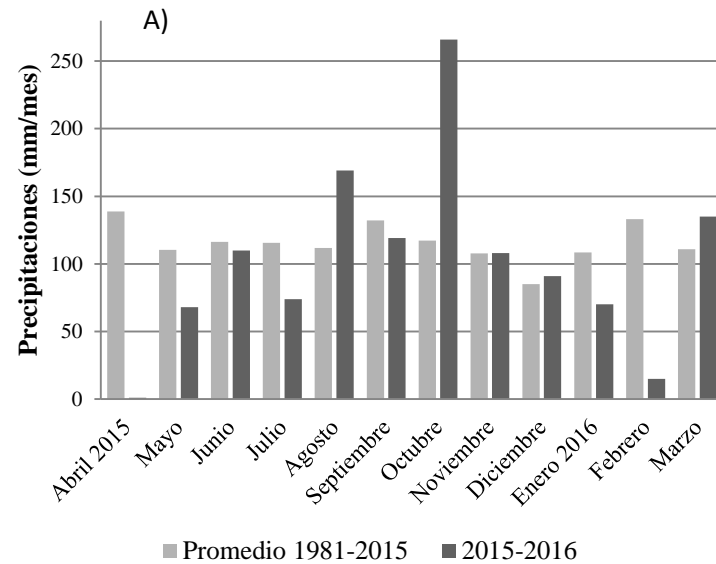


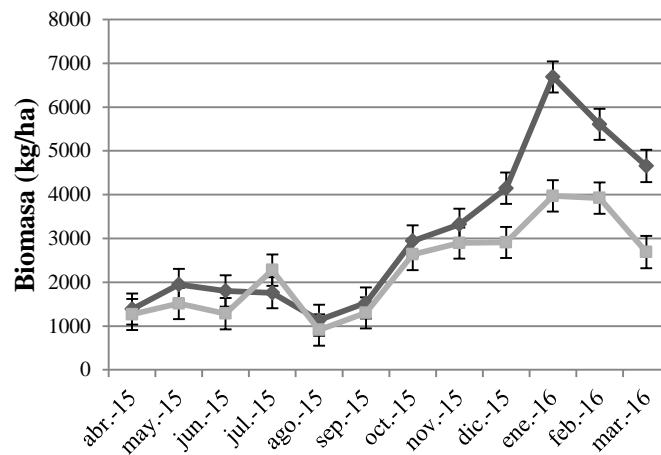
Figura 2- A) Precipitaciones mensuales durante el período Abril 2015-Marzo 2016 en la Estación Experimental Bernardo Rosengurt en comparación al promedio 1981-2014, Estación Meteorológica de Melo (Fuente: EEBR e INUMET 2016). B) Temperatura diaria máxima y mínima durante el período Abril 2015-Marzo 2016 vs promedio 1981-2015, Estación meteorológica de Melo. (Fuente: INUMET 2016).

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA PASTURA

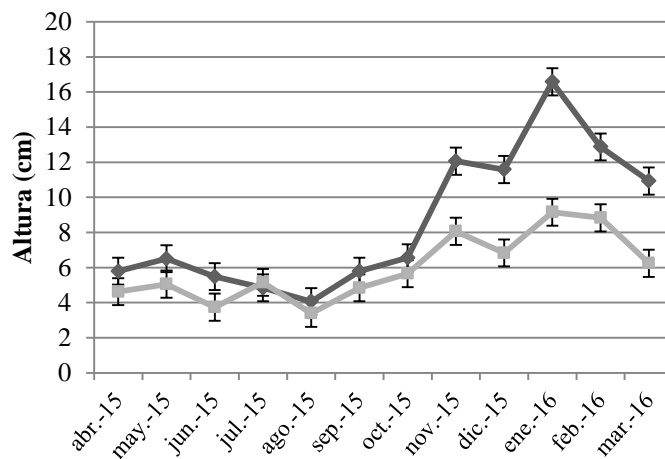
3.2.1. Biomasa y altura de la pastura

Tanto la biomasa como la altura de la pastura tuvieron diferencias marcadas entre tratamientos ($P < 0,0001$), entre estaciones ($P < 0,0001$) y su interacción ($P < 0,0129$ y $0,0012$ para biomasa y altura respectivamente), lo cual está asociado a una mayor acumulación de biomasa durante el verano y el otoño del año 2016 (Figura 3).

Al comienzo del ensayo (Otoño 2015) los tratamientos no difirieron significativamente ni en biomasa por unidad de superficie, ni en altura (Figura 3). A partir de noviembre 2015, se observan diferencias significativas en la altura entre tratamientos (8,0 cm en BOF y 12,0 cm en AOF, $P < 0,05$) mientras que las diferencias en biomasa se registran a partir de diciembre 2015 (2910 kg MS/ha vs 4147 kg MS/ha, $P < 0,05$). Estas diferencias en altura y biomasa continúan siendo significativas entre tratamientos durante el verano e inicio del otoño 2016.



	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
AOF	1667def	1565ef	2598d	5480a	4654ab
BOF	1391f	1490f	2277de	3601bc	2688cd
Promedio	1529d	1528d	2438c	4541a	3671b



	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
AOF	6,1d	4,8d	8,1c	13,7a	10,9b
BOF	4,8d	4,1d	6,2d	8,3c	6,2cd
Promedio	5,5c	4,4c	7,2b	10,1a	8,6b

Figura 3- Evolución de la biomasa (kg MS/ha) y la altura de la pastura (cm) según oferta de forraje (AOF, línea negra y BOF, línea gris). Medias ajustadas (\pm error estándar) desde otoño de 2015 a otoño 2016 (**Otoño:** Marzo, Abril, Mayo; **Invierno:** Junio, Julio, Agosto; **Primavera:** Setiembre, Octubre, Noviembre y **Verano:** Diciembre, Enero, Febrero; letras diferentes en la fila indican diferencias significativas con $P < 0,05$).

3.2.2. Composición química de la pastura en los períodos de medición

La composición química de la pastura ofrecida durante los 3 períodos de medición de consumo y metano (P1-mayo, P2-agosto y P3-noviembre), no presentó diferencias entre tratamientos, ni entre los períodos P1 y P2, excepto para el porcentaje de proteína cruda (PC) que fue mayor y similar entre tratamientos, en el periodo P3 (noviembre) (Cuadro 3).

Cuadro 3- Composición química (como %MS) del forraje disponible en dos ofertas de forraje (AOF y BOF), en tres períodos de muestreo (P1: mayo, P2: agosto, P3: noviembre), en el año 2015.

	P 1		P2				P3				<i>P Valor</i>				
	AOF		BOF		AOF		BOF		AOF		BOF		OF	P	OF*P
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE			
MS (%)	91	1,1	90	1,5	90	1,1	90	1,5	89	1,1	90	1,1	ns	ns	ns
MO (%)	85	3,9	86	5,5	86	3,9	89	5,5	89	3,9	90	3,9	ns	ns	ns
PC (%)	6,5	0,30	7,3	0,40	7,4	0,30	6,3	0,40	9,5	0,30	9,8	0,30	ns	<0,05	ns
aFDN (%)	78	4,0	64	5,7	72	4,0	74	5,7	69	4,0	71	4,0	ns	ns	ns
FDA (%)	43	2,4	34	3,4	37	2,4	36	3,4	35	2,4	35	2,4	ns	ns	ns
EB (Mcal/kgMS)	4,0	0,20	3,7	0,30	3,8	0,20	4,2	0,30	4,2	0,20	4,2	0,20	ns	ns	ns

3.3. PESO VIVO Y CONDICIÓN CORPORAL DE LAS VACAS

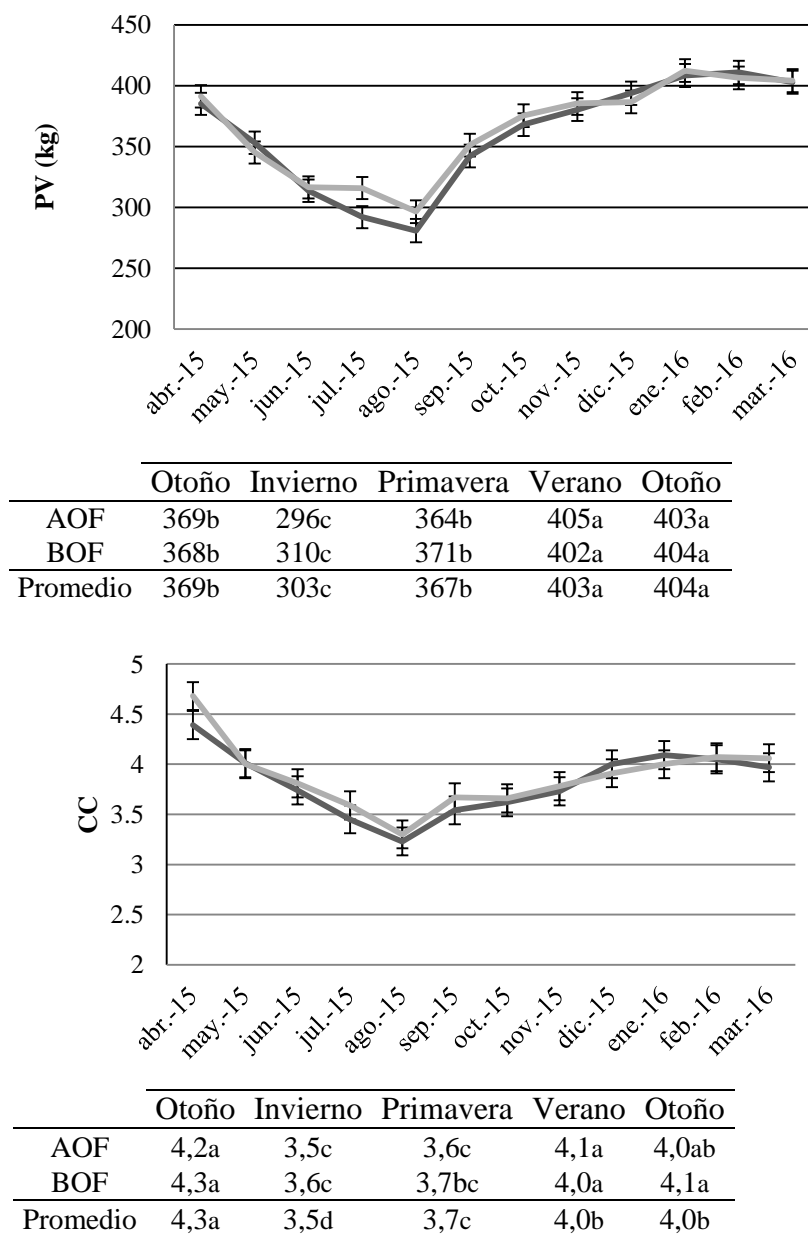


Figura 4- Evolución de peso vivo (PV, kg) y de la condición corporal (CC) por tratamiento (AOF, línea negra y BOF, línea gris). Medias ajustadas (\pm error estándar) desde otoño de 2015 a otoño 2016 (**Otoño:** Marzo, Abril, Mayo; **Invierno:** Junio, Julio, Agosto; **Primavera:** Setiembre, Octubre, Noviembre y **Verano:** Diciembre, Enero, Febrero; letras diferentes en la fila indican diferencias significativas con $P < 0,05$).

Tanto el peso vivo (PV), como la condición corporal (CC), no presentaron diferencias entre tratamientos (369 kg PV en promedio, $P=0,7116$ y 3,91 CC en promedio, $P=0,6211$), así como tampoco se observó una interacción con las estaciones ($P=0,2419$ y $P=0,7161$ para PV y CC respectivamente), pero entre las estaciones los valores difirieron de manera muy significativa ($P<0,0001$).

Al inicio del experimento, en el otoño, el PV promedio no difirió entre tratamientos ($369 \pm 5,9$ kg PV). En invierno, se alcanza el menor valor de PV ($303 \pm 5,6$ kg PV), y en primavera comienza una recuperación ($367 \pm 5,7$ kg). El mayor PV se registró en verano y otoño del 2016 ($403 \pm 5,7$ kg y $404 \pm 7,1$ kg, verano y otoño respectivamente).

La CC promedio al inicio del experimento, varió de manera similar a la variación del PV, en el otoño no difirió entre tratamientos ($4,3 \pm 0,08$), con un mínimo durante el invierno ($3,5 \pm 0,08$), que se continúa en la primavera ($3,7 \pm 0,08$), alcanzando nuevamente valores de 4 y más, en el verano y el otoño del año siguiente, sin diferir de forma significativa entre ellos ($4,0 \pm 0,08$).

3.4. CARGA ANIMAL

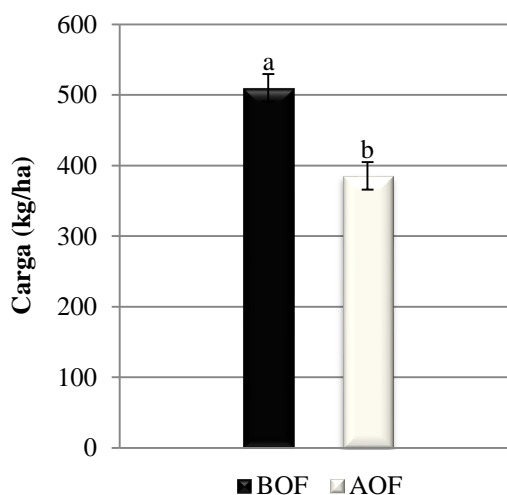
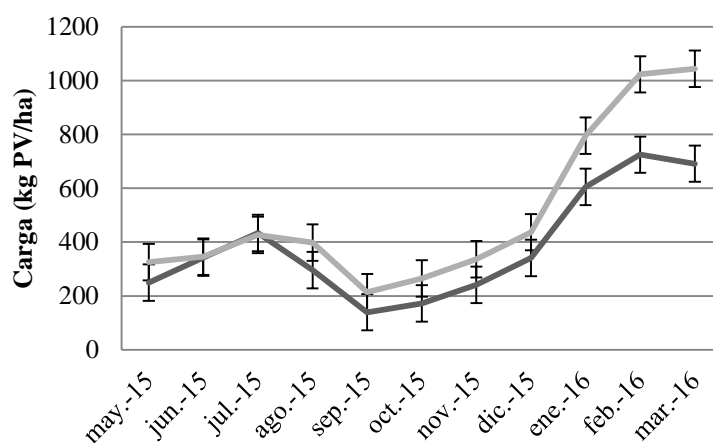


Figura 5- Carga animal (kg/ha) según oferta de forraje, para el período abril 2015 - marzo 2016 (Medias con letra diferente difieren significativamente, $P<0,05$).

La carga animal (expresada como kg PV/ha), mostró diferencias entre los tratamientos ($P < 0,0001$), con una media de $510 \pm 16,9$ kg PV/ha en BOF en relación a $385 \pm 16,9$ kg PV/ha en AOF (Figura 5). A su vez, se observaron diferencias entre las estaciones ($P < 0,0001$) y su interacción con los tratamientos ($P = 0,0083$).

La carga de BOF, permanece siempre por encima de AOF, sin embargo estas diferencias sólo son significativas a partir del verano, cuando las diferencias en biomasa entre tratamientos son significativamente mayores (Figura 6).



	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
AOF	296c	290c	252c	665b	691b
BOF	335c	347c	346c	909a	1044a
Promedio	316b	318b	299b	787a	867a

Figura 6- Evolución de carga animal (kg PV/ha) según oferta de forraje (AOF, línea negra y BOF, línea gris). Medias ajustadas (\pm) error estándar, para el período otoño 2015 a verano 2015-2016 (**Otoño:** Marzo, Abril, Mayo; **Invierno:** Junio, Julio, Agosto; **Primavera:** Setiembre, Octubre, Noviembre y **Verano:** Diciembre, Enero, Febrero; letras diferentes en la fila indican diferencias significativas con $P < 0,05$).

3.5. DESEMPEÑO DE LA PROGENIE

El peso vivo promedio de los terneros desde el nacimiento hasta el destete, así como el peso al nacimiento, fueron similares entre los tratamientos. Sin embargo, al destete con 210 ± 15 días, los terneros en el tratamiento BOF presentaron aproximadamente un 10% más de peso que en el tratamiento AOF (Cuadro 4).

Cuadro 4- Peso vivo de los terneros en dos ofertas de forraje (AOF y BOF).

	AOF		BOF		<i>P Valor</i> OF
	Media	EE	Media	EE	
Peso Vivo promedio nac-dest (kg)	95,1	2,61	100,9	2,81	0,2295
Peso Nacimiento (kg)	30,1	0,89	31,1	1,04	0,5091
Peso Destete (kg)	160,1	4,83	176,8	5,74	0,0366

La ganancia media diaria (GMD) de peso desde el nacimiento hasta el destete, presentó una tendencia ($P=0,0750$) a una mayor GMD en el tratamiento BOF (Cuadro 5).

Cuadro 5- Ganancia media diaria (GMD) de peso (kg/d) de los terneros, por etapa, en dos ofertas de forraje (AOF y BOF).

	AOF		BOF		<i>P Valor</i> OF
	Media	EE	Media	EE	
GMD Nac-dest (kg/d)	0,66	0,025	0,73	0,030	0,0750
GMD Etapa 1 (kg/d) ¹	0,70	0,032	0,75	0,037	0,3690
GMD Etapa 2 (kg/d) ²	0,63	0,027	0,72	0,032	0,0420
kg ternero/vaca	117	8,4	100	11,4	0,2484

¹Desde nacimiento a noviembre. ²Desde diciembre a destete.

No obstante, al analizarlo por etapas, desde el nacimiento hasta noviembre (Etapa 1, mayor dependencia de la producción de leche de la madre) y desde diciembre hasta el destete (Etapa 2, mayor participación de la pastura en dieta), se puede apreciar que en la Etapa 1 las ganancias no difieren entre tratamientos, mientras que en la Etapa 2 la ganancia de peso es un 13% mayor en el tratamiento BOF (Cuadro 5). Sin embargo la cantidad de ternero obtenido por vaca (expresado como kg ternero/vaca) no varió entre tratamientos.

3.6. DIGESTIBILIDAD Y CONSUMO

Se determinó el consumo individual durante tres períodos de mediciones: P1 en mayo (segundo tercio de gestación), P2 en agosto (máximo balance energético negativo), P3 en noviembre (ternero al pie).

La digestibilidad de la MO de la pastura seleccionada fue relativamente similar entre tratamientos y períodos, con un promedio 67,4% (cuadro 6). Solamente en P3, el tratamiento AOF presentó un valor algo mayor (68,0%, $P<0.05$) con respecto a los demás valores. La digestibilidad de la MS presentó un comportamiento similar, con un promedio de 65,9%, y en este caso el valor menor se alcanzó en BOF en P3 (64,3%, $P<0.05$), posiblemente por un mayor contenido de cenizas en la muestra de pastura analizada en este tratamiento (cuadro 6).

El cálculo del consumo de MO a partir de la estimación de heces excretadas y de la digestibilidad de la MO, presentó valores similares entre tratamientos tanto en P1 como en P2, con un promedio de 6,2 kg MO/día. En P3 (noviembre) el consumo de MO aumentó pero fue similar entre tratamientos, con un promedio de 10,8 kg MO/día. El cálculo del consumo de MS arroja resultados algo distintos en función de los contenidos de cenizas de las muestras de pastura analizadas en cada tratamiento y período, con valores mayores en AOF tanto en P1 como en P3, y similares entre tratamientos en P2 (6,9 kg MS/día en promedio). La misma tendencia aparece al analizar el consumo de MS digestible diaria en cada período (cuadro 6).

Sin embargo, el mejor estimador del consumo de energía es el consumo de MO digestible (MOD), siendo los valores entre tratamientos similares tanto en P1 como en P2 (4,1 kg MOD/día en promedio). En P3 el consumo de MOD fue mayor en AOF con respecto a BOF (7,8 vs 6,8 kg MOD/día, $P<0.05$) (Cuadro 6).

Cuadro 6- Producción de heces, digestibilidad y consumo por animal y por unidad de PV en dos ofertas de forraje (AOF y BOF), en tres períodos de muestreo (P1: mayo, P2: agosto, P3: noviembre), en el año 2015.

	P 1		P2		P3					<i>P Valor</i>					
	AOF		BOF		AOF		BOF		AOF		BOF		OF	P	OF*P
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE			
Heces (kg MO/d)	2,3b	0,15	2,0b	0,15	1,9b	0,16	2,1b	0,17	3,6a	0,15	3,3a	0,15	0,37	<0,001	0,20
Dig MO (g/kg MO)	670c	2,1	672bc	2,1	673bc	2,2	675ab	2,6	680a	2,2	673bc	2,2	0,39	0,003	0,01
Dig MS (g/kg MS)	661a	4,6	663a	4,3	663a	4,6	662a	4,8	662a	4,2	643b	4,2	0,11	0,010	0,11
Consumo MO (kg/d)	6,7b	0,47	6,1b	0,47	5,7b	0,52	6,4b	0,55	11,4a	0,47	10,1a	0,47	0,30	<0,001	0,13
Consumo MO digestible (kg/vaca/d)	4,4c	0,34	4,1c	0,34	3,7c	0,36	4,1c	0,37	7,8a	0,34	6,8b	0,34	0,30	<0,001	0,13
Consumo MS (kg/d)	8,9c	0,55	7,3d	0,52	6,6d	0,55	7,2d	0,58	12,9a	0,5	11,1b	0,5	0,05	<0,001	0,06
Consumo MS digestible (kg/vaca/d)	6,0c	0,38	4,8d	0,36	4,4d	0,38	4,7d	0,4	8,5a	0,34	7,2b	0,34	0,03	<0,001	0,05
Consumo MS (% PV)	2,6bc	1,60	2,1 d	1,50	2,3 cd	1,60	2,3 cd	1,70	3,4 a	1,50	3,0 b	1,50	0,04	<0,001	0,27

Medias con letra diferente en la fila son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

Finalmente, el consumo de MS expresado como porcentaje del PV de las vacas, presenta variaciones entre 2,3% (P1 y P2) a 3,4% en AOF y 3,0% en BOF en P3 (noviembre).

3.7. COMPORTAMIENTO EN PASTOREO

En el tercer período de mediciones, se registró el comportamiento en pastoreo de los animales en dos subperíodos de muestreo de dos días cada uno, (SP1: 25 y 26 de noviembre y SP2: 18 y 19 de diciembre), desde la salida hasta la puesta del sol (14 horas).

Como se observa en el cuadro 7, la proporción del tiempo destinada al pastoreo fue menor en AOF, pero similar la proporción del tiempo destinada a la rumia en relación al tratamiento BOF. La proporción del tiempo destinado al descanso fue algo menor en BOF, explicado por la medición en el sub-periodo2.

Cuadro 7- Proporción del tiempo destinado a la Ingestión, Rumia y Descanso según nivel de oferta (AOF y BOF), en el año 2015.

	Sub-P 1		Sub-P 2			<i>P Valor</i>			
	AOF	BOF	AOF	BOF	OF	P	OF*P		
	Media	Media	EE	Media				Media	EE
Ingestión (%)	56 b	63 a	0.02	61 a	66 a	0.02	0.0147	0.0199	0.4306
Rumia (%)	32 a	25 b	0.02	26 b	26 b	0.02	0.1186	0.1221	0.0397
Descanso (%)	12 a	12 a	0.01	13 a	8 b	0.01	0.0317	0.1522	0.0453

Medias con letra diferente en la fila son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

3.8. EMISIONES DE METANO

Se determinó la emisión diaria de metano de cada vaca durante los mismos tres períodos de mediciones del consumo individual: P1 mayo (segundo tercio de gestación), P2 agosto (máximo balance energético negativo) y P3 noviembre (ternero al pie) (Cuadro 8).

Cuadro 8- Medias ajustadas y error estándar de las emisiones de CH₄ por día (g/d) y su rendimiento como energía bruta ingerida, por kg de MS ingerida y PV, en dos ofertas de forraje (AOF y BOF), en tres períodos de muestreo (P1: mayo, P2: agosto, P3: noviembre), en el año 2015.

	P1		P2		P3					<i>P Valor</i>					
	AOF		BOF		AOF								BOF		
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	OF	P	OF*P		
Emisión Metano (g/vaca/d)	170b	13,6	148b	13,1	140b	13,2	160b	12,9	294a	13,6	329a	13,6	0,35	<0,001	0,08
Rendimiento metano															
EB Ingerida (Y _m %)	6,3b	0,57	7,2ab	0,57	7,6ab	0,56	7,5ab	0,67	7,2ab	0,52	8,6a	0,54	0,12	0,14	0,41
g CH ₄ / kg MS ing.	21,7b	2,04	21,7b	1,93	21,6b	1,99	23,7ab	2,35	23,9ab	1,85	29,1a	1,85	0,15	0,04	0,40
g Metano/kg PV	0,5bc	0,03	0,4c	0,03	0,5bc	0,03	0,5b	0,03	0,7a	0,04	0,8a	0,04	0,66	<0,001	0,10

Medias con letra diferente en la fila difieren significativamente ($P < 0,05$)

Las emisiones de metano diarias medidas por animal, no difirieron entre tratamientos, aunque sí hubo un efecto del período de medición, con valores mayores en P3 asociado a un mayor consumo, ya que esta misma variable expresada como EB Ingerida (Y_m %) o como g CH_4 / kg MS ingerida fue similar entre tratamientos y entre períodos. No obstante, cabe destacar el valor más alto en términos de rendimiento de metano observado en el tratamiento BOF en P3, asociado a una medición de metano más alta en este tratamiento (aunque no significativamente diferente del valor medido en AOF en P3) (cuadro 8).

Finalmente, la emisión de metano expresada por unidad de PV presenta valores mayores en P3 (similares entre tratamientos) explicado por el mayor consumo estimado en este período.

4. DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS PASTURAS Y DESEMPEÑO ANIMAL

El manejo de la oferta (OF) con cambios estacionales (Otoño: 8 y 4, Invierno 4 y 4, Primavera 12 y 8 y Verano 8 y 4 kg MS/kg peso vivo, AOF y BOF respectivamente), generan fluctuaciones en la producción y acumulación de forraje, donde se busca producir y acumular forraje en la primavera que luego será utilizado el resto del año. El concepto detrás de la estrategia de asignación de forraje es mantener mayor masa de forraje durante la temporada de crecimiento y consumirlo durante el período donde el crecimiento desciende o se hace nulo (Do Carmo, 2013). Esta estrategia es posible porque las vacas de carne pueden perder CC durante el período de gestación (hasta determinado umbral) y recuperarla luego, durante el período de lactancia (primavera) sin afectar significativamente el desempeño productivo (Freetly et al., 2000). El forraje que permanece en pie durante la primavera contribuye al aumento de la masa de forraje promedio mensual del sistema (Wales et al., 1999).

El manejo de la oferta estuvo asociado a diferente biomasa promedio anual, siendo mayor en AOF con respecto a BOF (3193 vs 2290 \pm 148 kg MS/ha/mes, respectivamente) ($P < 0,001$). No obstante, ambas biomásas promedio mensual superan a las reportadas en los experimentos previos realizados tanto en Basalto (Estación Experimental Facultad Agronomía Salto) como en el Noreste (EEBR) (Do Carmo, 2013; Claramunt, 2015). Dichos autores evaluaron ofertas de 2,5 y 4 kg MS/kg PV, y la biomasa varió entre 1140 y 1860 kg MS/ha en promedio.

Sin embargo, en este experimento, las diferencias en la biomasa por unidad de superficie se registraron recién a partir de la medición de diciembre 2015 (figura 3). Este efecto estaría explicado por el ajuste del nivel de la oferta de forraje realizado en este experimento, ya que previamente se venía trabajando con ofertas menores en ambos tratamientos (AOF: 4 y BOF: 2,5 kg MS/kg PV). La respuesta en acumulación de materia seca comenzó a observarse a partir de fines de primavera e

inicio del verano. El predominio de las especies de ciclo C4 encontradas con mayor frecuencia en este ensayo (*Axonopus affinis*, *Paspalum notatum*, *Paspalum dilatatum*, *Coelocharis selloana*, *Botrichloa laguroides*, *Schizachirium microstachium*, *Cynodon dactylon*, *Andropogon ternatus*, *Paspalum plicatulum*, *Sporobolus indicus*, Casalás, F y Caram, N, comunicación personal, 23 marzo 2018), contribuye a explicar el incremento de la masa de forraje durante este periodo (Berretta et al., 2000, Claramunt, 2015).

La composición química de la pastura tampoco varió entre tratamientos durante el otoño y el invierno. En primavera (noviembre) el contenido de PC aumentó (9,7%), aunque sin variar entre tratamientos, en acuerdo con resultados reportados por Moojen y Maraschin (2002) y Do Carmo et al., (2018), manejando de 1 a 6,3 kg MS/kg PV y OF de 800 a 2500 kg MS/ha, donde la composición química no se vio afectada por los tratamientos. De la misma forma, Moscat (2015), en Río Grande del Sur, tampoco encontró diferencias entre tratamientos con distintas intensificaciones de campo natural, pero observó mayores valores en primavera (8,9%), en relación al resto de las estaciones (6,6%).

La evolución de la altura del tapiz (Figura 3), siguió el mismo patrón que la evolución de la biomasa, es decir no hubo una diferencia significativa durante el otoño y el invierno 2015, variando entre 5,5 cm y 4,5 cm en promedio para ambas ofertas en otoño y en invierno respectivamente. A partir de la medición de noviembre, se observa una diferencia entre tratamientos (12,1 cm en AOF y 8,1 cm en BOF), diferencia que continua incrementándose durante el verano (13,7 cm en AOF y 8,3 cm en BOF en promedio durante el verano) e inicio del siguiente otoño 2016 (10,9 en AOF y 6,2 cm en BOF).

En este sentido, varios trabajos nacionales han puesto en evidencia la relación entre el estado de la condición corporal con la altura de la pastura para vacas de cría en pastoreo (Soca y Orcasberro, 1992, Trujillo 1996, Soca 2013). La CC al parto determina la eficiencia reproductiva, y debería ubicarse en valores cercanos a 4 y 4,5 para vacas adultas y primíparas respectivamente, la cual se logra consumiendo

pasturas en otoño con 6 a 8 cm, como mínimo (Soca, 2013). La meta en este período es intentar que las vaquillonas de primer y segundo entore lleguen al inicio del invierno con un estado de 5,5 a 6 y las vacas adultas en estado 5 (Soca y Orcasberro, 1992). Luego durante el invierno, donde la producción de forraje es muy baja a nula y los requerimientos de las vacas de cría son muy elevados debido a la gestación avanzada, los animales pierden estado. En los experimentos de pastoreo con vacas de cría se indica que si al inicio del invierno poseen una CC de 5,5-6 y 5 (vaquillonas y vacas respectivamente), pueden llegar al parto con CC cercanas a 4,5 y 4, si pastorean en potreros con una altura promedio de 3 cm, considerando que al menos el 30% del forraje debe tener una altura superior a 4 cm (Soca y Orcasberro, 1992).

La CC al inicio del experimento en abril 2015, no era la deseable para esta categoría de animales (4,4 y 4,7, AOF y BOF respectivamente) en función de lo anteriormente mencionado, a lo que se suma que la evolución de la condición corporal mostró una pérdida de estado importante (1,26 puntos de CC, Figura 4) en invierno, por lo cual la condición de estos animales no logra recuperarse al parto (3,6 CC promedio, setiembre 2015). La importancia de la altura del tapiz queda particularmente en evidencia si se toma en cuenta que los tratamientos apuntaron a ajustar la oferta de forraje, es decir en el tratamiento de AOF se ofrece una mayor cantidad de materia seca por animal con respecto al tratamiento de BOF, pero sin modificar la estructura del tapiz al inicio del ensayo (la diferenciación de la estructura de los tapices se logra a partir de noviembre 2015). En este sentido, no sería de extrañar que no hubiera diferencias en la CC de las vacas según oferta de forraje, ya que la estructura (o accesibilidad) del mismo puede haber restringido el consumo en pastoreo según lo reportado por varios autores (Gonçalves et al., 2009; Santos, 2007; Hodgson (1981) citado por Armúa 2013).

Con respecto a la carga animal (kg PV/ha), se observó una diferencia entre tratamientos (385 vs 510 kg PV/ha promedio anual en AOF y BOF respectivamente), superior a lo reportado por Claramunt (2015) (333 vs 433 kg/ha) en campos de basalto y Do Carmo (2013) (382 y 398 kg/ha, con biomásas promedio de 1860 vs 1140 ± 114 kg MS/ha para los tratamientos de 4 y 2,5 kg MS/kg PV) en los mismos

campos del Noreste que en este experimento. Estas diferencias en carga entre tratamientos están explicadas por las diferencias observadas en verano (Figura 6), a partir de enero 2016 en adelante. Como ya se mencionó, los tratamientos comienzan a diferenciarse en su biomasa por unidad de superficie y en altura, a partir de fines de noviembre (altura) – diciembre (biomasa/ha), por lo cual la carga se diferencia recién en enero, luego de las mediciones y el ajuste de carga realizado a fines de diciembre 2015 e inicios de enero 2016. En el período verano-otoño (desde diciembre de 2015 a abril de 2016), donde la AOF mostró mayor acumulación significativa de biomasa, la BOF superó en un 30% a la AOF (976 vs 678 kg/ha, $P < 0,05$). Es dable esperar que luego de alcanzar el nuevo equilibrio en la estructura del tapiz asociado al incremento en las ofertas impuesto en este experimento, se alcancen similares cargas entre tratamientos según los datos reportados por Do Carmo et al. (2017).

Datos obtenidos por Martínez y Pereira (2011), para los suelos del Noreste profundos aconsejan cargas de 0,80-0,85 UG por unidad de superficie (“carga segura”), lo que equivale aproximadamente a 314 kg/ha (tomando 1UG como una vaca de 380 kg). Los resultados de este ensayo estarían poniendo en evidencia que la capacidad de carga supera a la recomendación para este tipo de campo, como consecuencia de un manejo de la oferta que habilita una mayor acumulación de forraje por unidad de superficie, sin disminuir su productividad.

Al observar el desempeño de la progenie, en la primera etapa del crecimiento del ternero, tanto el peso al nacimiento, como en la ganancia media diaria durante los 3 primeros meses de vida (setiembre a noviembre), no hubo diferencias entre tratamientos (cuadro 4 y cuadro 5). Sin embargo, en la segunda etapa del desempeño del ternero al pie de la madre (diciembre al destete), los terneros de las vacas del tratamiento BOF presentaron una mayor tasa de ganancia, superando levemente a los terneros de AOF (717 g/d vs 626 g/d, $P=0,042$) (cuadro 5), lo cual resultó en un peso al destete mayor en este tratamiento (176,8 vs 160,1 kg, $P < 0,05$). Esta diferencia probablemente esté asociada a un mayor consumo de forraje de estos terneros, por mayor disponibilidad en verano (Figura 3). Según Alencar (1989), cuando los terneros tienen más de 60 días de edad, la ingesta de forraje comienza a ser

significativa en términos de energía y posiblemente haya un comportamiento compensatorio de los terneros hijos de vacas en BOF según reportado por Gutiérrez et al. (2012), aunque esta posible diferencia en el plano nutricional entre vacas no se observó en las mediciones de PV, CC e inclusive consumo realizadas en P1 y P2. No habría que descartar tampoco, un cambio en la calidad del forraje en verano asociado a mayor acumulación de biomasa en esta estación (mayor proporción de material estructural) en AOF, que haya afectado el consumo de animales que requieren pasturas con mayor digestibilidad (aunque estos valores no se reportan ya que en este trabajo las mediciones de composición química de las pasturas se realizaron hasta diciembre 2015).

4.2. CONSUMO Y EMISION DE METANO EN PASTOREO

En este trabajo se realizaron mediciones de consumo, pero previamente a la discusión de los resultados obtenidos, es importante un análisis de los valores hallados ya que la bibliografía nacional es escasa en cuanto a información sobre esta variable medida en condiciones de campo. Para ello, se presenta a continuación valores de consumo calculados en base al Feeding Standards for Australian Livestock (CSIRO, 2007) y NRC (1984; Davis et al., 1994). Para este cálculo se tomó en cuenta los datos de evolución de PV, evolución de CC, biomasa por unidad de superficie (Anexo 4) y se comparó con los valores de consumo estimados por la técnica del óxido de cromo (Cuadro 9).

Cuadro 9- Consumo estimado según requerimientos y medido con óxido de cromo según tratamiento y período de muestreo (P1: mayo, P2: agosto, P3: noviembre), en el año 2015.

	P 1		P 2		P 3	
	AOF	BOF	AOF	BOF	AOF	BOF
Estimado según Requerimientos*						
Consumo (Mcal/kg PV ^{0,75})	0,17	0,15	0,20	0,28	0,28	0,28
Consumo MO (kg/d)	5,7	5,6	5,8	6,6	10,6	10,7
Medido con óxido cromo						
Consumo (Mcal/kg PV ^{0,75})	0,18	0,17	0,18	0,18	0,30	0,26
Consumo MO (kg/d)	6,7	6,1	5,7	6,4	11,4	10,1

*según NRC (1984) y CSIRO (2007)

Los valores de consumo (kg MO/día) medidos por óxido de cromo son similares a los calculados en función de los requerimientos según las características de los animales y la biomasa por unidad de superficie en cada periodo de medición, por lo cual se asume que la magnitud de los valores reportados está dentro de lo esperable según el desempeño animal observado en este trabajo.

En cuanto a las diferencias entre tratamientos, el consumo (expresado como kg MO/día) no difirió significativamente entre AOF y BOF, en ninguno de los periodos de mediciones, siendo en promedio 7,7 kg MO/d (Cuadro 6). No obstante, el mejor estimador del aporte de energía es el consumo de materia orgánica digestible (MOD), y éste valor solo muestra diferencias entre tratamientos en P3, siendo mayor en AOF (7,8 kg MOD/día) en comparación a BOF (6,8 kg MOD/día) (Cuadro 6), aunque estas diferencias no se tradujeron en diferencias de PV, ni en CC entre tratamientos (Figura 4).

En cuanto al consumo según periodo de medición, el consumo de materia orgánica fue similar entre P1 (mayo) y P2 (agosto), mientras que en P3 (noviembre) aumentó, lo cual es coherente con la mejoría en la CC y PV registrado a partir de la primavera (setiembre en adelante). En promedio, en P3 el consumo fue igual o mayor

al 3% del PV (3,4% y 3,0% para AOF y BOF respectivamente) mientras que en P1 y P2 este valor fue aprox. 2,3% del PV en promedio.

Si tomamos en cuenta la relación entre la biomasa ofrecida promedio cada 100 kg PV promedio en cada uno de los periodos en los cuales se midió el consumo, estos valores fueron los siguientes: 16% en P1, 19% en P2 y 27% en P3. Según Maraschin (1997), presiones de pastoreo entre 11,5 y 13,5% permitirían alcanzar altos consumo por animal en campo natural. Pero a este dato, se le debe agregar además la acumulación de biomasa por unidad de superficie lo cual permite integrar también la estructura o altura de la pastura. En este sentido, Santos (2007) reporta que biomazas por unidad de superficie entre 1400 y 2500 kg/ha de MS y alturas media entre 7,5 y 13,5 cm son consideradas óptimas para maximizar el consumo de vacunos en pastoreo de campo natural, lo cual permite tomar en cuenta la accesibilidad del forraje para el vacuno.

Las biomazas alcanzadas en este ensayo en otoño e invierno (1390 y 1670 kg MS/ha, respectivamente) estuvieron dentro del rango de biomasa por unidad de superficie reportado por Santos (2007) como optimo para alcanzar altos consumos en pastoreo, sin embargo las vacas tuvieron pérdidas considerables en su condición corporal en estas estaciones (Figura 4). Estos resultados estarían reforzando el supuesto de que fue más una barrera asociada a la estructura de la pastura (altura) que a la biomasa por unidad de superficie (Figura 3), que dificultó la prehensión del forraje y por lo tanto el consumo. Seguramente los altos requerimientos de estos animales por su condición de primíparas y la baja accesibilidad de la pastura dada por la distribución de la biomasa en el tapiz (altura: (5,5 y 4,4 cm en promedio, para otoño e invierno respectivamente), estén explicando en mayor medida las pérdidas de CC ocurridas en otoño e invierno.

Para los animales en crecimiento, como la categoría vaquillonas, el depósito de energía para mantener e incrementar la masa básica del cuerpo (crecimiento), resulta de crucial importancia (Short y Adams, 1988). Esto explica que los requerimientos de energía por kilogramo de peso metabólico de vacas primíparas sean mayores que en vacas adultas (NRC, 2000). Como consecuencia poseen mayor sensibilidad a

restricciones en el consumo de energía y constituyen un modelo metabólico altamente exigente (Grimard et al., 1995, Claramunt 2015).

Al comparar la misma asignación u oferta en distintos años, se puede observar claramente que la estructura del tapiz no necesariamente era la misma a pesar de tener la misma oferta asignada. Si tomamos como ejemplo la OF de otoño (8 y 4 kg MS/kg PV para AOF y BOF, respectivamente), se advierte que para el año 2015 los tratamientos poseían una disponibilidad de forraje y altura muy inferior (1667 y 1391 kg MS/ha vs 4654 y 2688 kg MS/ha, y 6,1 y 4,8 cm vs 10,9 y 6,2 cm, AOF y BOF; año 2015 y 2016, respectivamente), a la biomasa disponible en otoño del siguiente año. Este cambio en la estructura del tapiz posiblemente contribuya a una diferente accesibilidad de los animales al forraje, produciendo efectos desiguales en las variables productivas para dichos años, a pesar de que las ofertas asignadas eran equivalentes. Es de esperarse que en los años subsiguientes se alcance un equilibrio tal en la pastura, por mayor producción y acumulación de biomasa, que permita una diferenciación desde el otoño en el tratamiento de AOF.

Durante fines de primavera e inicios del verano, la biomasa varió entre 3601 y 5480 kg MS/ha y la altura entre 8,3 y 13,7 cm (en BOF y AF respectivamente), permitiendo mejorar el consumo, lo cual queda en evidencia en la medición realizada en P3 (diciembre). De esta forma las vacas pudieron mejorar el balance energético y su condición corporal. Según Nabinger (2009b), la capacidad de ingestión diaria de MS de un bovino es de aproximadamente 3% de su peso vivo, dependiendo de la calidad del forraje y su categoría, en acuerdo con los valores reportados en P3 en este trabajo. A medida que aumenta la disponibilidad de forraje diaria por animal y la estructura del pasto posibilita la mejoría del consumo, el desempeño individual se ve favorecido dada la posibilidad de poder seleccionar en términos de especies, así como de partes dentro de la misma planta. Según este autor, en tapices de Campos el máximo consumo por animal se consigue cuando no hay más limitación física al consumo y tiene la máxima posibilidad de selección de su dieta. Dicha situación se alcanzaría con un ofrecido de 12 a 13% MS/100 kg PV/día (aproximadamente 3,5 kg MS/kg PV).

En cuanto al comportamiento en pastoreo de los animales, éste solo fue evaluado en P3 (noviembre), y mostró diferencias en la proporción del tiempo destinado al consumo entre tratamientos, siendo menor en AOF (58% vs 64%, $P < 0,05$), lo cual podría estar evidenciando cierta diferencia en la facilidad de prehensión de la pastura en este tratamiento con respecto a BOF (3323 kg MS/ha con 8,14 cm vs 2895 kg MS/ha con 6,18 cm, $P < 0,01$), resultando en mayor consumo (Cuadro 6) en un menor tiempo relativo en comparación al tratamiento BOF. Estudios recientes muestran que un aumento de 200 kg MS/ha en la biomasa de forraje (Carvalho et al., 2011b), podría asociarse con cambios en la estructura del pasto (más altura y densidad) que estarían incidiendo en un aumento en el consumo de forraje y una reducción en el tiempo de pastoreo diario. Estas modificaciones podrían reducir el gasto energético del pastoreo, mejorar la ingesta de forraje, la eficiencia del uso de energía y contribuir a explicar un mejor balance energético (NRC 2000; Carvalho et al., 2011b; Scarlato et al., 2012, Claramunt, 2015).

En este ensayo, se realizaron mediciones de metano de las vacas de cría en campo natural, siendo las primeras mediciones realizadas en estas condiciones en el país. Los valores de emisión diaria de metano hallados no variaron entre tratamientos, pero sí entre periodos asociado a la variación en el consumo, siendo similares los valores en P1 (159 g/día) y P2 (150 g/día) y mayores los valores en P3 (312 g/día). Estos valores fueron algo superiores a los valores reportados a nivel regional por Moscat (2015) en novillos, (otoño, invierno y verano: 139 y primavera: 269 g CH₄/vaca/d) y Machado (2015) en vaquillonas, (OF 4 y 8%: 148 y OF 12 y 16%: 113g CH₄/vaca/d), en Río Grande do Sul. Moscat (2015), reporta además que la estación del año afectó más el consumo y la emisión de metano que los niveles de mejoramiento del campo natural estudiados.

Según Kurihara (1999), la relación entre emisión de metano y consumo de materia seca es curvilínea, es decir que la emisión de metano aumenta hasta determinado nivel de consumo y a partir de este punto disminuye, debido al aumento del flujo de la ingesta que reduce el tiempo de retención de la ingesta en rumen disminuyendo así el rendimiento de la metanogénesis (Okine et al., 1989). En la

figura 7, se presenta la relación entre consumo y emisión de metano para los tres periodos de mediciones. El coeficiente de determinación en este caso nos indica que un 42% del metano emitido estaría explicado por el consumo de MS, aunque con una dispersión bastante amplia entre individuos de la población, propio de la divergencia intra e interespecífica del campo natural y la selectividad posiblemente aumentada por mayor cantidad de forraje disponible, similar a lo ocurrido en el ensayo de Moscat (2015).

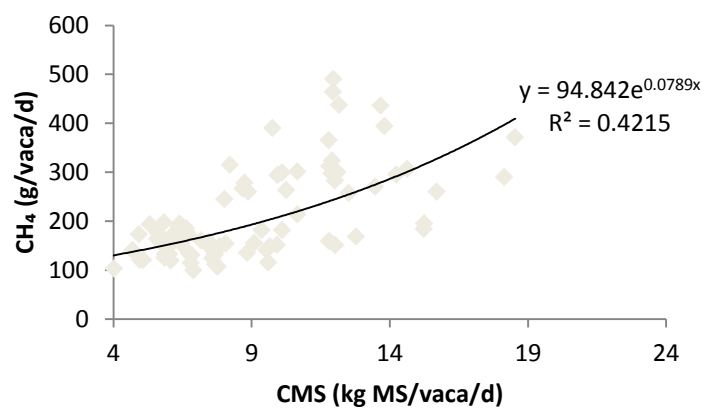


Figura 7- Relación entre el CMS (kg MS/vaca/d) y las emisiones de metano (g/vaca/d), en los tres períodos de medición (P1: mayo, P2: agosto, P3: noviembre), en el año 2015.

En cuanto al rendimiento de metano por unidad de consumo de forraje, éste varió entre 21,6 a 23,7 g CH₄/kg MS en P1 y P2, mientras que en P3 varió entre 23,7 en AOF a 29,1 g CH₄/kg MS en BOF, con un valor medio de rendimiento de metano registrado en este experimento de 23,6 g CH₄/kg MS, en acuerdo a lo que reporta la bibliografía para pasturas de similares características (Molano et al. 2006, Ricci et al 2013).

El metano expresado como rendimiento en energía bruta ingerida (Y_m), no mostró diferencias entre tratamientos o entre períodos de mediciones, con un valor promedio de 7,4 %, lo cual es dable esperar en la medida que la calidad de las pasturas seleccionadas no varió entre períodos (DMO = 67,4 % en promedio). La digestibilidad de la dieta tiene un efecto directo en la reducción de la intensidad de

emisión de CH₄ y las emisiones de CH₄ por kg de materia seca consumida (Pinares-Patiño et al., 2009). Algunos autores sugieren que en animales alimentados con forrajes tropicales, se produce mayor cantidad de metano (>8%) por unidad de energía bruta consumida, que en aquellos de zonas templadas (7%), debido a una mayor proporción de carbohidratos estructurales (Clark et al., 2005; Vargas et al., 2012). El IPCC (2007) propone valores de Y_m entre 6,5% a 7,5% (vacunos en diferentes sistemas pastoriles). En este sentido, investigación nacional e internacional, estaría poniendo en evidencia que valores de Y_m de 6,5% corresponderían pasturas en el entorno del 75% DMO y valores de emisión de 19,8 g CH₄/kg MS consumida (Dini et al. 2012; Loza, 2017), mientras que en pasturas de 67 % DMO podría esperarse valores de 7,4% - 7,5% y valores de emisión de 23,6 g CH₄/kg MS consumida según lo hallado en este trabajo.

En la medida que los datos calculados según requerimientos por el sistema de ecuaciones de NRC (1984) y CSIRO (2007) están próximos a los datos de consumo de materia orgánica estimados en este trabajo, se puede usar este sistema de ecuaciones para realizar una estimación del consumo promedio anual (promedio de los 12 meses) para esta categoría de animales. En base a este dato, y utilizando el rendimiento promedio de los tres períodos de medición de metano por kg de consumo hallado en este trabajo (consumo de materia orgánica), se puede estimar la emisión de metano durante el ciclo de producción de vacas de cría en campo natural de características similares al reportado en este trabajo (cuadro 10).

Cuadro 10-Estimación de las emisiones anuales de la vaca de cría según oferta de forraje, año 2015.

	AOF	BOF
	Media	Media
Consumo MO promedio (kg/d) ⁽¹⁾	8,6	8,7
g CH ₄ / kg MO	25,2	27,3
kg CH ₄ / vaca/ año	79	87

(1) Calculo a partir de las ecuaciones NRC (1984) y CSIRO (2007)

Según esta deducción, la emisión anual de metano de una vaca de cría a lo largo de su ciclo productivo sería entre 79 a 87 kg de metano/animal/año. Estimaciones realizadas en Canadá por Raymond (2013), basadas en la metodología del Tier 2 del IPCC (2006), presentan factores de emisión para vaquillonas de carne de 75 kg/animal/año, similares a los valores obtenidos en el presente ensayo.

Según el Inventario Nacional de GEI del 2004 (MVOTMA, 2010), el nuevo promedio nacional de estos factores de emisión se estima entre 58,1 y 72,6 kg CH₄/cabeza/año para ganado no lechero y ganado lechero, respectivamente (valor promedio para el conjunto de todas las categorías del rodeo). Datos publicados por el IPCC (2006), presentan como valor de referencia para emisión de metano de bovinos de carne en América del Sur, 56 kg por animal por año. Este promedio toma en cuenta todo el sistema de producción de carne, incluida la invernada y el feedlot, por lo que sería esperable que para los sistemas de cría este valor sea mayor.

Finalmente, una estimación de la emisión unitaria para este trabajo, a partir de los cálculos del Cuadro 5 y del Cuadro 10, sería:

Cuadro 11. Estimación de las emisiones unitarias de metano de vacas de cría según dos ofertas forrajeras en pastoreo continuo en campo natural

	AOF	BOF
	Media	Media
kg CH ₄ / vaca / año	79	87
kg ternero / vaca	117	100
kg CH ₄ / kg ternero	0,68	0,87
kg CO ₂ eq (*) / kg ternero (**)	17	22

(*) CO₂ eq. = 1 kg CH₄ x 25

(**) Emisiones solamente debidas a metano, no incluye otras emisiones de CO₂ y N₂O

La emisión unitaria de metano estaría dentro del rango de valores para sistemas criadores reportados por Becoña et al. (2014) y estimados según la metodología del Tier 2 del IPCC (2006) (24,6 kg CO₂ eq./kg ternero destetado en promedio, tomando en cuenta que el metano representa aproximadamente el 75% de las emisiones de GEI en estos sistemas).

5. CONCLUSIONES

El aumento en la OF permitió levantar la acumulación de biomasa en el sistema con respecto al manejo previo en este experimento de largo plazo, con un incremento de casi 50% con respecto a resultados publicados anteriormente. Sin embargo este incremento se produjo principalmente en verano 2015-otoño 2016, por lo cual no impactó en el desempeño de las vacas al parto. Esto explicaría que no hubo diferencias en el peso al nacimiento de los terneros y tampoco durante la primera etapa de amamantamiento (setiembre-noviembre).

Los resultados de otoño-invierno 2015 ponen en evidencia que un aumento en la OF sin que la misma esté asociada a un incremento en la acumulación de forraje por unidad de superficie y en la altura del tapiz, no permitiría una mejora en el consumo de las vacas como se preveía en AOF (alturas entre 4,5 y 5,5 fueron limitantes para la cosecha del forraje en este ensayo).

La mejoría en la acumulación de forraje a partir de la primavera tardía-verano, permitió incrementos en el consumo (expresado como kg MO/día), sin que se diferenciaron los tratamientos, ya que posiblemente estuvieran consumiendo en condiciones cercanas al óptimo.

En metano no se observaron diferencias entre tratamientos en emisión diaria asociada a que la AOF no logró traducirse en mayores consumos. No obstante, se observaron diferencias entre períodos con la mayor emisión en P3, asociada al incremento en el consumo en ambas ofertas.

No obstante, este trabajo ha permitido medir emisiones de metano individuales de vacas de cría durante tres períodos relevantes del ciclo productivo (gestación media, gestación a término, ternero al pie), aportando información inédita hasta el presente para nuestros sistemas de cría vacuna, obteniéndose factores de emisión (Y_m) de 7,4% y de 23,6 g CH_4 /kg MS consumida.

Sin duda, estos valores deben tomarse con cautela ya que, en función del análisis presentado, sería deseable poder analizar el desempeño animal de las vacas de cría en tapices ya estabilizados en términos de biomasa por unidad de superficie y altura según las ofertas forrajeras promedio evaluadas en este trabajo, y además acrecentar la base de datos nacionales sobre emisiones en pastoreo de vacas de cría, incluyendo más mediciones a lo largo del ciclo de producción. Ello permitiría tener una estimación más confiable de la emisión anual de metano de vacas de cría en campo natural con un manejo mejorado del pastoreo, según la propuesta tecnológica que se viene implementando en este experimento de largo plazo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alencar MM. 1989. Relação entre produção de leite da vaca e desempenho do bezerro das raças Canchim e Nelore. *Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia*. 18:146-156.
- Allen VG, Batello C, Berretta EJ, Hodgson J, Kothmann M, Li X, McIvor J, Milne J, Morris C, Peeters A, Sanderson M. 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*. 66:2–28.
- Animut G, Goetsch AL, Aiken GE, Puchala R, Detweiler G, Krehbiel CR, Merkel RC, Sahlu T, Dawson LJ, Johnson ZB, Gipson TA. 2005. Grazing behaviour and energy expenditure by sheep and goats co-grazing grass/forb pastures at three stocking rates. *Small Ruminant Research*. v. 59:191–201.
- AOAC. (Association of Official Analytical Chemists) 1990. *Official Methods of Analysis*, 15th ed. Virginia (NV), AOAC. 770-771.
- Armúa A. 2013. Efecto de la frecuencia de pastoreo sobre la productividad de un campo natural. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 99 p.
- Astessiano AL, Pérez-Clariget R, Quintans G, Soca P, Meikle A, Crooker BA, Carriquiry M. 2014. Metabolic and endocrine profiles and hepatic gene expression in periparturient, grazing primiparous beef cows with different body reserves. *Livestock Science*. 170: 63-71.
- Astigarraga L. 1997. Técnicas para estimar el consumo de rumiantes en pastoreo. En: Workshop "Pastagem volvida para a Nutrição Animal". Paraná, Brasil. Universidade Estadual de Maringá. 1-23.
- Barthiaux-Thill N, Francois E, Thewis A, Thielemens MF. 1978. Comparaison chez le mouton de l'oxyde de chrome papier et du radioceryum, marqueurs de la phase solide de la digesta. *Annales de Zootechnie*. 27, 363 - 376.

- Becoña G, Astigarraga L, Picasso V. 2014. Greenhouse gas emissions of beef cow-calf grazing systems in Uruguay. *Sustainable Agriculture Research* Vol. 3 (2), 89-105.
- Becoña G. 2012. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de cría vacuna del Uruguay. Tesis MSc. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 69 p.
- Berretta EJ, Risso DF, Montossi F, Pigurina G. 2000. "Campos in Uruguay." En: *International symposium on grassland ecophysiology and grazing ecology.* Wallingford Oxon: CABI Publishing. 377-394 p.
- Brosh A, Aharoni Y, Holzer Z. 2002. Energy expenditure estimation from heart rate: validation by long-term energy balance measurement in cows. *Livestock Production Science*. 77(2): 287-299.
- Carvalho P, Nabinger C, Lemaire G, Genro T. 2011a. Challenges and opportunities for livestock production in natural pastures: the case of Brazilian Pampa Biome. En: Feldman S, Oliva G, Sacido M (eds.). Rosario, Argentina. *Diverse Rangelands for a Sustainable Society, IX International Rangeland Congress*. 9-15 p.
- Carvalho P, Bremm C, Mezzalira JC, Da Trindade JK, Nascimento Jr D. 2011b. How can grazing behavior research at the bite to patch scales contribute to enhance sustainability of rangeland livestock production systems. En: Feldman S, Oliva G, Sacido M. (eds.). Rosario, Argentina. *Diverse Rangelands for a Sustainable Society, IX International Rangeland Congress*. 565-571 p.
- Carvalho P, Batello C. 2009. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. *Livestock Science*. 120: 158 - 162.
- Carvalho P, Kozloski G, Nunes Ribeiro Filho H, Reffatti M, Genro T, Pacheco Batista Euclides V. 2007. Avanços metodológicos na determinação do consumo de ruminantes em pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.36, suplemento especial.151-170.

- Chamberlain DG, Thomas PC. 1983. A note on the use of Chromium sesquioxide as a marker in the nutritional experiments with dairy cows. *Animal Production* 36, 155-157.
- Claramunt MR. 2015. Efecto de la oferta de forraje sobre parámetros productivos, reproductivos y eficiencia de uso del forraje de vacas primíparas en pastoreo de Campos de Basalto. Tesis MS. Montevideo: Facultad de Agronomía. 84 p.
- Clark H, Pinares-Patiño C, De Klein C. 2005. Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. In: McGilloway, D.A. *Grassland: A global resource*. Wageningen, The Netherlands. Academic Publishers. 279-293
- Coates DB, Penning P. 2000. Measuring animal performance. En "Field and laboratory methods for grassland and animal production research". Wallingford, Oxon, UK. En: L't Mannelje, RM Jones Eds. CAB International. 353-402.
- Comeron E, Peyraud J. 1993. Prediction of herbage digestibility ingested by dairy cows. *Revista Argentina de Producción Animal*. 13: 23-30.
- Cross DL, Boling JA, Bradley NW. 1973. Chromic oxide and crude protein excretion in the bovine as influenced by water restriction. *Journal of Animal Science* 36, 982-985.
- CSIRO (Feeding Standards for Australian Livestock). 2007. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. Melbourne, AU. CSIRO Publishing.
- Davis KC, Tess MW, Kress DD, Doornbos DE, Anderson DC. 1994. Life cycle evaluation of five biological types of beef cattle in a cow-calf range production system: I. Model development. *Journal of Animal Science*. 72:2585-2590.
- Da Trinidad JK. 2011. Comportamento e consumo de forragem de bovinos de corte em pastagem natural complexa. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Programa de pós-graduação em zootecnia. 208 p.

- DICOSE (Dirección de Contralor de Semovientes). MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca).2010. Datos Generales de la Declaración Jurada ante DICOSE al 30 de junio de cada año - Año 2010 - Total Nacional. Consultado 30 marzo 2016. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/direccion-general-de-servicios-ganaderos/sanidad-animal/dicose/declaracion-jurada-ante-dicose/anio-2010>
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2013. Anuario estadístico agropecuario. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Montevideo: Dirección de Estadísticas Agropecuarias. Consultado 10 de febrero 2014. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario-2013>
- Dini Y, Gere J, Cajarville C, Ciganda VS. 2017. Using highly nutritious pastures to mitigate enteric methane emissions from cattle grazing systems in South America. *Animal Production Science*. Consultado 23 julio 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/AN16803>
- Dini Y, Gere J, Briano C, Manetti M, Juliarena P, Picasso V, Astigarraga L.2012 Methane emission and milk production of dairy cows grazing pastures rich in legumes or rich in grasses in Uruguay. *Animals*. 2: 288-300.
- Do Carmo M, Sollenberger LE, Carriquiry M, Soca P. 2018. Controlling herbage allowance and selection of cow genotype improve cow-calf productivity in Campos grasslands. *The Professional Animal Scientist* .34:32–41
- Do Carmo M, Costa N, Orcasberro S, Soca P. 2017. Efecto de la oferta de forraje y la estación del año sobre la carga animal. XXIV Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical - Grupo Campos. Tacuarembó. 145-147

- Do Carmo M. 2013. Efecto de la oferta de forraje y genotipo vacuno sobre la productividad de la cría vacuna en Campos de Uruguay. Tesis MSc. Montevideo: Facultad de Agronomía. 74 p.
- Ferrell CL, Garrett WN, Hinman N. 1976. Growth, development and composition of the udder and gravid uterus of beef heifers during pregnancy. *Journal of Animal Science*, 42:(6).1477 - 1489
- Freetly HC, Ferrell CL, Jenkins TG. 2000. Timing of realimentation of mature cows that were feed-restricted during pregnancy influences calf birth weights and growth rates. *Journal of Animal Science* 78:2790-2796.
- Genro CT, Carvalho PC, Soca P, Garcia N, Nabinger C, Amaral A, Laca EA. 2012. Técnicas para estimativa de consumo sob pastejo. En: Gomez Pereira et al. (Eds.). *Anais do VI Simposio sobre manejo estratégico da pastagem*. Vicosa, MG. Universidad Federal de Vicosa. 21-51 p.
- Gere J. 2012. La técnica de trazado por SF₆ para medir emisiones de metano de rumiantes en pastoreo: Desarrollos metodológicos y algunas aplicaciones. Tesis Doctoral. Tandil, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas. UNCPBA. 142 p.
- Gere J, Gratton R. 2010. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and other applications. *Latin American Applied Research* 40, 377-382.
- Gonçalves EN, Carvalho PCF, Silva CEG, Santos DT; Diaz JAQ, Baggio C, Nabinger C, 2009. Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: padrões de desfolhação e seleção de dietas. Brazil. *Journal of Animal Science*. 38: 611-617
- Grimard B, Humblot P, Ponter AA, Mialot JP, Sauvant D, Thibier M. 1995. Influence of postpartum energy restriction on energy status, plasma LH and oestradiol secretion and follicular development in suckled beef cows. *Journal of Reproduction and Fertility*. 104(1): 173-179.

- Gutiérrez V, Espasandin AC, Astessiano AL, Casal A, López-Mazz C, Carriquiry M. 2012. Calf fetal and early life nutrition on grazing conditions: metabolic and endocrine profiles and body composition during the growing phase. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 96: 1–12
- Haydock KP, Shaw NH. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15: 663–670.
- Hodgson J. 1990. *Grazing Management: Science into Practice*. Harlow, Essex, UK. Longman Handbooks in Agriculture. Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, UK. 203 p.
- Hodgson J. 1981. Influence of sward characteristics on diet selection and herbage intake by the grazing animal. In: Hacker, J. B. ed. *Nutritional limits to animal production from pastures*. Queensland, Australia, s.e. pp. 153 – 166.
- Holmes CW, Wilson GF, Mackenzie DDS, Flux DS, Brookes IM, Davey AWF. 1984. *Milk Production from Pasture*. Wellington, New Zealand. Butterworths Agricultural Books. 319 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. *Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report. Technical summary*. Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T, Minx J C. (Eds.) Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Cambridge University Press. 107 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE, (Eds.). Cambridge, UK Cambridge University Press. 976 pp.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, forestry and other land use 2006. En: H. Dong J, Mangino T, McAllister A, Hatfield JL, Johnson DE, Romanovskaya A. Emissions from livestock and manure management. Hayama, Kanawaga, Japan: IGES. Consultado 5 de marzo de 2017. Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001. La base científica. Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico. Parte de la contribución del Grupo de trabajo I. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.101p.
- Johnson KA, Huyler M, Westberg H, Lamb B, Zimmerman P. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using SF₆ tracer technique. *Environmental Science Technology*.28: 539-362.
- Jonker A, Molano G, Koolgaard J, Muetzel S. 2016. Methane emissions from lactating and non-lactating dairy cows and growing cattle fed fresh pasture. *Animal Production Science* 57: (4) 643-648
- Kamra ND, Agarwal N, Chaudhary LC. 2010. Effect of tropical feeds and plants containing secondary metabolites on methane emission by ruminants. *Tropical Animal Health and Production*, 1701: 1-23
- Kurihara M, Magner T, McCrabb H, McCrabb G.1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*, 81: 227-234.
- Laporta J, Astessiano AL, López-Mazz C, Soca P, Espasandin AC, Carriquiry M. 2014. Effects of herbage allowance of native grasslands in purebred and crossbred beef cows: metabolic, endocrine and hepatic gene expression profiles through the gestation–lactation cycle. *Animals*. 1-11.

- Lassey KR, Ulyatt MJ, Martin RJ, Walker C.F, Shelton ID. 1997. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmospheric Environment*.31:2905-2914.
- Littel R, Pendergast J, Natarajan R. 2000. Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in Medicine*.19, 1793-1819.
- Loza C. 2017. Consumo, gasto energético y emisiones de metano de vacas lecheras pastoreando a diferentes biomásas. Tesis MSc. Montevideo. Facultad de Agronomía. 83 p.
- Machado I. 2015. Emissão de metano por bovinos sob níveis de oferta de forragem em pastagem nativa do Bioma Pampa. Universidade federal do rio grande do sul. Faculdade de agronomia. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Programa de pós-graduação em Zootecnia. 96p.
- Maraschin GE, Moojen EL, Escoteguy CMD, Correa L, Apezteguia ES, BoldriniII. 1997. Native pasture, forage on offer and animal response. Winnipeg and Saskatoon, Canada. Calgary, Canada. En: BuchananSmith JG, Bailey LD, McCaughey P. ed. *Proceeding of the XVIII International Grassland Congress*, 8 - 19 June 1997; p. 27-29.
- Martinez M, Pereira M. 2011. Pautas para el manejo del campo natural. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca- Plan Agropecuario.10p.
- McAllister TA, Okine EK, Mathison GW, Cheng KJ. 1996. Aspects environnementaux et microbiologiques de la production de methane chez les ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*. 76: 231-243.
- McCaughey WP, Wittenberg K, Corrigan D. 1999. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*. 79, 221–226.
- Melix C, Peyraud JL .1987. Utilisation de l'oxyde de chrome chez les vaches laitières pour la prévision des quantités de feces émises. 2. Comparaison des méthodes de prélèvement de feces par voie rectale et par collecte globale (en stalle á

- digestibilité et sur le champ). *Reproduction Nutrition Développement* 27 (1B), 217-218.
- Millot J, Risso D, Methol R. 1987. Relevamiento de pasturas y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay. Montevideo, Uruguay. FUCREA. 195p.
- Modernel P, Astigarraga L, Picasso V. 2013. Global versus local environmental impacts of grazing and confined beef production systems. *Environmental Reserch Letters* 8:035052.
- Molano G, Clark H, Knight TW, Cavanagh A. 2006. Methane emissions from growing beef cattle grazing hill country pasture. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 66, 172–175.
- Moojen EL, Maraschin GE. 2002. Potencial produtivo de uma pastagem nativa do rio grande do sul submetida a níveis de oferta de forragem. *Ciência Rural*. 32: 127-132.
- Morenz MJF, Da Silva JFC, Aroeira LJM. 2006. Óxido de cromo e alcanos na estimativa do consumo de forragem de vacas em lactação em condições de pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.4, p.1535-1542.
- Moscat B. 2015. Emissão de metano e comportamento ingestivo de bovinos de corte em pastagem natural com diferentes níveis de intensificação. Universidade federal do rio grande do sul. Faculdade de agronomia. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Programa de pós-graduação em zootecnia. 138 p.
- Mott GO. 1960. Grazing pressure and the measurement of pasture production. In: *Proceedings of the eighth international grassland congress*. 11 -21 July. Berkshire, England. University of Reading.
- Murray RM, Bryant AM, Leng RA. 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition*. 36: 1-14.
- MVOTMA (Ministerio de Vivienda Ordenamiento territorial y Medio Ambiente, Dirección general de Medio Ambiente, Unidad de Cambio Climático). 2010.

Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 2004. Consultado 6 Junio 2017. Disponible en: https://www.dinama.gub.uy/indicadores_ambientales/wp-content/uploads/2016/04/MVOTMA_Inventario-Nacional-de-Emisiones-de-GEI-1990-2004.pdf

Nabinger C, Carvalho PCF. 2009a. Ecofisiología de Sistemas Pastoriles: Aplicaciones para su Sustentabilidad. Uruguay. Agrociencia XIII. p 18-27.

Nabinger C, Tonet Ferreira E, Freitas AK, de Faccio Carvalho PC, Menezes Sant'Anna D. 2009b. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade De Patta Pillar V, Müller SC, de Souza Castilhos ZM, Ávila Jacques AV. Brasília. Ministério do Meio Ambiente. p 175-198.

Nabinger C, de Moraes A, Maraschin GE. 2000. Campos in southern Brazil. En: Lemaire G, Hodgson J, de Moraes A, Nabinger C, Carvalho PCF. (Eds.). Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. Cambridge: University Press. p. 355-376.

NRC (National Research Council). 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. Washington, DC. National Academy Press. 248 p.

NRC (National Research Council). 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle (6th Ed.). Washington, DC. National Academy Press.

Okine EK, Mathison GW, Hardin RT. 1989. Effects of changes in frequency of reticular contractions on fluid and particulate passage rates in cattle. Journal of Animal Science. 67: 3388–3396.

Oyhantçabal W, Becoña G, Astigarraga L, Roel A, Saizar C. 2013. Primer estudio de la huella de carbono de tres cadenas agroexportadoras del Uruguay: Carne vacuna, Lácteos, Arroz. Uruguay. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Universidad de la República (UDELAR), INIA y LATU. 61p.

- Piaggio L. 1994. Pasture and animal traits associated with intake and selectivity of grazing steers on rangeland. Tesis PhD. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 438p.
- Picasso V, Modernel P, Becoña G, Salvo L, Gutiérrez L, Astigarraga L. 2014. Sustainability of meat production beyond carbon footprint: a synthesis of case studies from grazing systems in Uruguay. *Meat Science*. 98: 346–354.
- Picasso V. 2013. Sustentabilidad ambiental y resiliencia de la ganadería en campo natural frente a cambios en la intensidad de pastoreo. Proyecto INNOVAGRO. FSA_1_2013_1_12906
- Pinares-Patiño CS, Waghorn GC, Hegarty RS, Hoskin, SO. 2009. Effects of intensification of pastoral farming on greenhouse gas emissions in New Zealand. *Veterinary Journal*. 57,252-261.
- Quintans G, Banchemo, Carriquiry M.; López C, Baldi F. 2008. Efecto de la condición corporal y la restricción del amamantamiento con y sin presencia del ternero sobre la producción de leche, anestro posparto y crecimiento de los terneros. In: Quintans G, Velazco JI, Roig G. (Eds.). Seminario de actualización técnica: cría vacuna. Montevideo (Uruguay). INIA. Serie Técnica: 174. p. 172-181.
- Raymond AF. 2013. Investigating the carbon footprint of cattle grazing the lac du bois grasslands: The effects changes in management may have on reducing and removing GHG emissions, and opportunities for BC ranchers to explore carbon offset opportunities. Thesis Msc. Thompson Rivers University. 127p.
- Reid RS, Thornton PK, Mccrabb GJ, Kruska RL, Atieno F, Jones PG. 2004. Is it possible to mitigate greenhouse gas emissions in pastoral ecosystems of the tropics? *Environment, Development and Sustainability*: 6: 91–109.
- Ricci P, Rooke JA, Nevison I, Waterhouse A. 2013. Methane emissions from beef and dairy cattle: quantifying the effect of physiological stage and diet characteristics. 91, 5379–5389.

- Santos DT. 2007. Manipulação da oferta de forragem em pastagem natural: efeito sobre o ambiente de pastejo e o desenvolvimento de novilhas de corte. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Zootecnia. Porto Alegre. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 259p.
- SAS Institute, Inc. 2001. The SAS system for Windows. Version 8.2. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Scarlato SA, Faber C, Do Carmo M, Soca P. 2012. Foraging behavior of beef cows grazing native pasture: I. Effect of breed and herbage allowance on grazing and ruminating time. En: Anales/proceedings of the IX International Rangeland Congress. Rosario, Argentina. Diverse Rangelands for a Sustainable Society. 657p.
- Scarlato S. 2011. Conducta de vacas de cría en pastoreo de campo nativo: efecto de la oferta de forraje sobre la expresión del patrón temporal y espacial de pastoreo. Tesis MSc. Montevideo: Universidad de la República. 64 p.
- Schonbach P, Wan HW, Gierus M, Bai YF, Muller K, Lin LJ, Susenbeth A, Taube F. 2011. Grassland responses to grazing: effects of grazing intensity and management system in an Inner Mongolian steppe ecosystem. *Plant Soil* 340(1-2): 103-115.
- Short RE y Adams DC. 1988. Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle reproduction. *Can. Journal of Animal Science*. 68:29.
- Soares A, Carvalho PCF, Nabinger C, Semmelmann C, da Trindade JK, Guerra E, Stella de Freitas T, Pinto CE, Fontoura Júnior JA, Frizzo A. 2005. Animal and forage production on native pasture under different herbage allowance. *Ciência Rural*: 35 (5): 1148-1154.
- Soares ABP, Carvalho C F., Nabinger C, Frizzo A, Pinto CE, Junior JAF., Semmelmann C, da Trindade J. 2003. Effect of changing herbage allowance on primary and secondary production of natural pasture. Durban, South Africa . En: Allsopp N, Palmer AR,., Milton SJ, Kerley GIH, Kirkman K P, Hurt R,

- Brown CJ. (Eds.). Proceedings of the 7th International Rangeland Congress; 26th July -1st August 2003; 966-968
- Soca P. 2013. Aportes del campo natural a las mejoras del resultado y sostenibilidad de la cría vacuna en Uruguay. Producción animal sostenible en pastoreo sobre campo natural. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca.74p.
- Soca P, Carriquiry M, Do Carmo M. 2013a. Forage allowance and cow genotype, tools to increase animal production in native pastures. Sidney, Australia. En: Proceedings of 22 International Grassland Congress.
- Soca P, Carriquiry M, Claramunt M, Gestido V, Meikle A. 2013b. Metabolic and endocrine profiles of primiparous beef cows grazing native grassland; a) Relationships between body condition score at calving and metabolic profiles during the transition period. *Animal Production Science*. 54(7): 856-861.
- Soca P, Carriquiry M, Do Carmo M, Scarlato S, Astessiano AL, Genro C, Claramunt M, Espasandín AC. 2013c. Oferta de forraje del campo natural y resultado productivo de los sistemas de cría vacuna del Uruguay: I Producción, uso y conversión del forraje aportado por campo natural. En: Quintans G, Scarsi A. (Eds). Seminario de actualización técnica: Cría Vacuna. Montevideo: INIA. 97-118.
- Soca P, Carriquiry M, Espasandín AC. 2013d. Efecto de la oferta de forraje y grupo genético de las vacas sobre la productividad y sostenibilidad de la cría vacuna en campo natural. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA. Serie: FPTA N°48. 9-12.
- Soca P, Claramunt M, Do Carmo M. 2007. Sistemas de cría vacuna en ganadería pastoril sobre campo nativo sin subsidios: Propuesta tecnológica para estabilizar la producción de terneros con intervenciones de bajo costo y de fácil implementación. *Revista Ciencia Animal* 3: 3-22.
- Soca P, Orcasberro R. 1992. Propuesta de Manejo del Rodeo de Cría en base a Estado Corporal, Altura del Pasto y Aplicación del Destete Temporario. En: Evaluación Física y Económica de Alternativas Tecnológicas en Predios

- Ganaderos. Paysandú: Estación Experimental M. A. Cassinoni, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 54-56.
- Sollenberger L, Moore J, Allen V, Pedreira C. 2005. Reporting herbage allowance in grazing experiments. *Crop Science*. 45: 896–900.
- Soriano A. 1991. Río de la Plata Grasslands. En: Coupland RT (Ed.). *Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere*. Amsterdam: Elsevier. 367–407.
- Titonell P. 2014. Ecological intensification of agriculture sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 8:53–61
- Trujillo AI, Orcasberro R, Beretta V, Franco J, Burgueño J. 1996. Performance of Hereford cows under conditions of varied forage availability during late gestation. En: *Development of feed supplementation strategies for improving ruminant productivity on small-holder farms in Latin America through the use of immunoassay techniques. Proceedings of the final Research Co-ordination Meeting of a Co-ordinate Research Programme organized by the Joint FAO/AIEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture*. Viena: IAEA-TECDOC-877. 69-80.
- US-EPA (United States Environmental Protection Agency). 1993. *Current and future methane emissions from natural sources: Report to Congress*. Washington, DC. Office Atmospheric and Indoor Programs, US-EPA.
- Van Soest PJ. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. Second edition. Cornell University Press. 476 p.
- Van Soest PJ, Roberston JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74, 3583-3597.
- Vargas J, Cárdenas E, Pabón M, Carulla J. 2012. Emisión de metano entérico en ruminantes en pastoreo. *Archivos de Zootecnia*. 61 (R): 51-66.

- Vizcarra JA, Ibañez W, Orcasberro R. 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas* .7: 45–47.
- Wales WJ, Doyle PT, Stockdale CR, Dellow DW. 1999. Effects of variations in herbage mass, allowance, and level of supplement on nutrient intake and milk production of dairy cows in spring and summer. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39:119-130.
- White R, Brady M, Capper JL, Johnson KA. 2014. Optimizing diet and pasture management to improve sustainability of U.S. beef production. *Agricultural Systems* 130 (2014) 1–12.
- William C, David D, Lismoa O. 1962. The determination of chromic oxide in fecal samples by atomic absorption spectrophotometry. *Journal of Agricultural Science* 59, 381-385.

7. ANEXOS

7.1. ANEXO 1

Artículo: Effect of two forage allowances on dry matter intake and methane emissions of primiparous beef cows in continuous grazing on grassland

Para ser publicado en la revista “Animals”.

Effect of two forage allowances on dry matter intake and methane emissions of primiparous beef cows on grassland

María Soledad Orcasberro^{1,*}, Cecilia Loza², José Gere³, Pablo Soca² and Laura Astigarraga²

¹ Departamento de Producción Animal y Pasturas, Estación Experimental Bernardo Rosengurtt, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Ruta 26 km 408, Cerro Largo 37000, Uruguay

² Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Av. Garzón 780, Montevideo 12900, Uruguay; cloza@fagro.edu.uy; psoca@fagro.edu.uy; astigarr@fagro.edu.uy

³ Unidad de Investigación y Desarrollo de las ingenierías, UTN.BA, Facultad Regional de Buenos Aires, CONICET. Medrano 951 (C117AAQ) C.A.B.A., Argentina; jotandil@gmail.com

*sorcasberro@fagro.edu.uy; Tel.: +(598) 4640 2057

Received: date; Accepted: date; Published: date

Simple Summary: Recent management technologies of forage allowance in rangeland have shown promising results in productivity, but the impact on environmental variables such as methane emissions is not quantified. The objective was to evaluate the effect of forage allowance on intake and methane emissions of breeding cows in natural forage. The trial consisted in two treatments of herbage allowance with 40 heifers. Methane emissions and intake were estimated during May, August and November 2015. Both daily methane emission and intake did not differ according to the herbage allowance, which resulted in similar methane emission per kg of DMI and methane yield. However, all variables were significantly affected by the period with a marked increase in November, except for methane yield. Results show that the methane emissions and intake were significantly affected by the period of measurement, but not by the level of herbage allowance used in this study. Besides, they are considered relevant since they are the first data obtained on methane emissions in pregnant heifers in natural grassland for Uruguay.

Abstract: Improved grazing management has shown that there is great potential to reduce greenhouse gases emission produced by livestock, but the impact on relevant environmental variables such as methane emissions (CH₄) has not been quantified yet. Therefore, the aim of the study was to evaluate the effect of two forage allowances on CH₄ emissions and intake (I) in primiparous cows on native pastures. The trial included 40 heifers, with two treatments of herbage allowance (HA, 8 and 5 kg DM/kg LW). During May, August and November, CH₄ emission was determined with the SF₆ tracer technique and I was estimated using Cr₂O₃. CH₄ (207g/d), I (7.7 kg OM/d), CH₄ emission per kg of DMI (23.6 g CH₄/kg DMI) and methane yield, Y_m (7.4), were similar between treatments. On the other hand, all variables were considerably different among periods ($P \leq 0.0001$), with a marked increase in November, except for Y_m. The results show that the CH₄ emissions and I were influenced by the period, but not by the HA used in this trial.

Furthermore they are the first data obtained on methane emissions in pregnant heifers in natural grassland for Uruguay.

Keywords: Greenhouse gases; dry matter intake; grazing; cow-calf systems; grassland

1. Introduction

The country is located in the Campos region [1], the largest biogeographic unit of native grasslands in South America and one of the most important in the world [2,3]. Therefore livestock from Uruguay bases its export competitiveness in the natural grasslands, which drives the search for tools to increase physical, economic and environmental sustainability production, without increasing costs and vulnerability to climate change [4].

Beef cattle represent more than 92.5% of the national stock [5], and in meat production systems, the breeding phase, based on natural pastures, is responsible for 63% to 80% of the Total Carbon Footprint, used as an indicator of the greenhouse gas emissions (GHG) generated per unit of product [6,7]. The livestock sector, and mainly the calves production, explains more than 70% of the GHG emissions of Uruguay [8], according to the emission factors used by the [9].

The use of different management practices has shown that there is great potential to reduce GHG emission produced by livestock, through improved grazing management [10]. Recently, new management technologies of forage allowance in rangeland have shown promising results in beef production per unit area [11], but the impact on relevant environmental variables such as CH₄ emissions has not been quantified yet. Besides, there is no further information on CH₄ in pregnant heifers in natural grassland in Uruguay. Therefore, the aim of the study was to evaluate the effect of two native pasture allowances on CH₄ emissions and DMI in primiparous cows in Uruguay.

2. Materials and Methods

2.1. Weather parameters

The annual average of precipitations during the experiment was 16% lower than the historical average (1981-2014) for the area. The recorded temperature was slightly higher, mainly the minimum exceeded 4% historically documented data.

2.2. Experimental treatments and design

The trial was conducted at the Bernardo Rosengurt Research Station, Cerro Largo, Uruguay (32°22'S, 54°26'W), with 40 heifers Hereford and Aberdeen Angus (20 per treatment), from the second third of gestation (May 2015) until weaning (April 2016), with two treatments of forage allowance (HA: 8 and 5 kg DM/kg LW, annual average) under continuous grazing. HA varied seasonally. In autumn we adjusted 8 and 4, winter 4 and 4, spring 12 and 8 and summer 8 and 4 kg DM / kg live weight, HA8 and HA5 respectively.

HA [12], was adjusted monthly, through the appraisal of available forage and the "put and take" method [13], using cows of the same physiological status and live weight (LW)

than experimental cows, that were added or removed to adjust animal LW to the intended HA.

The stocking rate (kg LW/ha) was estimated as the average of two consecutive HA adjustments, with the total LW of experimental and added cows using for the adjustment.

The experiment design was a randomized complete generalized block with 2 blocks that represent contrasting soils and two spatial replicates per block. Block 1 consisted of Hapludalfs and Argiudolls soils and block 2 of Hapluderts and Argiudolls soils. The area of block 1 was 59 ha and block 2 was 48 ha.

The botanical composition of the pasture was dominated by: *Axonopus affinis*, *Oxalis sp*, *Cyperus sp*, *Cynodon dactylon*, *Eryngium nudicaule*, *Gaudinia fragilis*, *Chevreulia sarmentosa*, *Stipa setigera*, *Paspalum notatum* and *Coelorhachis selloana* [14].

2.3. Herbage measurements

The available forage mass (kg DM/ha) and height (cm) was calculated monthly, through the comparative yield method [15], with a 5 point visual scale and 3 similar sites per each point of scale, cut at ground level in quadrants of 0.25 m². At the same time pasture height was measured with a ruler at the point of maximum concentration of forages [16]. Then 100-150 randomly selected quadrants were rated at each sampling event on each experimental unit. The herbage samples were dried in a forced air oven at 60°C to relate herbage mass to the visual scale. The forage samples representative of each treatment in each measurement period were composed using the pasture samples of each point of the scale measured by the visual frequency obtained in the measurement of the forage mass. In the Laboratory of Animal Nutrition of the Faculty of Agronomy (University of the Republic) the chemical composition of each sample was estimated. The ash content was determined in a Muffle furnace at 600 ° C for three hours and the crude protein by the Kjeldahl method according to AOAC [17]. The neutral detergent fibre content, acid detergent fibre and acid detergent lignin were analysed by the method of Van Soest et al. [18]. The gross energy was processed using an adiabatic calorimetric pump (Gallenkamp Autobomb; Loughborough, Leics, Reino Unido).

2.4. Animal measurements

Monthly, experimental cows were weighed and body condition score (BCS, 1-8 scale, [19]) determined. Calf sex and LW were registered the first morning after birth, and then were weighed every month until weaning. Cow and calf LW were determined in the morning without fasting [20].

During May (second third of gestation), August (late gestation) and November (lactation) CH₄ emission was determined using SF₆ tracer technique and DMI was estimated using chromium oxide (Cr₂O₃) as an indigestible marker.

2.5. Intake and digestibility

The forage intake was determined with the double marker technique using Chromium Oxide (Cr₂O₃) as external marker for the estimation of feces production and Fecal Nitrogen (fN) and Fecal Acid Detergent Fiber (fADF) as internal indicators for the estimation of OM

digestibility of pasture consumed. The equation used for the calculations was adjusted by Comeron and Peyraud [21]:

$$\text{OMD} = 0.791 + 0.0334 \text{fN} - 0.0038 \text{fADF} \quad (1)$$

Where: OMD is the OM digestibility (g/kg), fN is the nitrogen concentration of the fecal OM (g/kg OM) and fADF is the concentration of acid detergent fiber in the fecal OM (g/kg OM).

It was dosed once a day with 10 g of Cr₂O₃ from day 1 of the experimental period, with the aim of reaching a state of equilibrium at the ruminal level (stabilization period of the marker). Two samplings BOF days each were carried out during the period. The collection of feces was performed daily, from day 8 to 12 of each experimental subperiod.

Each of the collections were identified and dried in a forced air oven at 60 ° C for 96 h until constant weight and milled in a mill with 1 mm mesh to subsequently determine MS and Cr₂O₃ concentration. The concentration of the chromium in feces was measured by atomic absorption spectrometry (Perkin-Elmer 2380, Norwalk, Connecticut, USA) using an acetylene flame according to the procedures described by William et al. [22]. The chromium standards were combined with faecal samples taken at the beginning of the trial.

2.6. Methane emission

Methane emissions were measured using the sulphur hexafluoride (SF₆) technique as a tracer gas reported by Johnson et al. (1994) and adapted [23], to collect breath samples for periods BOF days (sampling of several days), instead of the original 24-hour sampling.

Prior to the start of the experimental period (10 days earlier) was placed in the reticulum of each animal a permeation tube of SF₆ (with an average daily rate of 3.53 ± 0.2712 mg/d). Two stainless steel collection containers of 0.5 L volume per animal were placed to increase the sampling efficiency. Each pair of containers remained in the animal during the 5 days of sampling according to the technique of Johnson et al. (1994) adapted by Gere and Gratton [23], and used by Dini et al [24], and Loza [25]. The cylinders were cleaned with high purity nitrogen gas (N₂) and pre-evacuated before each sampling period. The flow restrictors were calibrated to allow an entry in the cylinder of between 400 and 700 mb at the end of the collection period.

In addition to the samples collected from the animals, a sample of atmospheric air was collected in the area of the experimental plots to determine the base level of CH₄.

The gas samples were taken during two sub-periods BOF days in each measurement period (on days 10 to 14 and 16 to 20). At the end of the first sub-period (5 days), the set of collecting containers was replaced by another pair (per animal). The samples were analyzed immediately after the end of each experimental period.

The concentrations of CH₄ and SF₆ were calculated by gas chromatography in the Animal Nutrition Laboratory of the Faculty of Agronomy. For CH₄, a 3 ml loop, an HP-PLOTQ column and a flame ionization detector were used. The quantifiable CH₄ peaks were compared against a standard of known concentration. For the SF₆, a 10 ml loop, an HPMOLSIV column and an electronic capture detector were used. Standards for calibration were made from standards diluted in synthetic air in a range of 1.5 to 44 ppm and 25 to 250 ppt for CH₄ and SF₆ respectively.

After having the chromatographic analyses of the samples, the emission of CH₄ per animal was calculated using the release rate of the SF₆ capsule and the results obtained from the concentration of CH₄ and SF₆, using the following expression:

$$\text{CH}_4 \text{ (g/d)} = \text{TPSF}_6 \text{ (g/d)} * [\text{CH}_4] / [\text{SF}_6] \quad (2)$$

Where: TPSF_6 is the release rate of SF_6 from the capsule, $[\text{CH}_4]$ and $[\text{SF}_6]$ are the concentrations of these gases (in ppm and ppt, respectively) above atmospheric concentrations.

2.7. Statistical analyses

All the measurements made on the animals and pastures were analysed according to a generalized block design with 2 blocks representing different soil types, using PROC MIXED from the statistical package SAS (2001).

For the variables recorded during the three measurement periods (DMI, CH_4 , $\text{CH}_4 / \text{kg DM}$ and Y_m) a mixed linear model (MLM) was adjusted, with fixed effects of the treatment, the period of measurement, the genotype, the block and their interactions, and a random effect of the cow to contemplate the correlations between the data recorded in different moments on the same animal. They were analysed as repeated measures, with unstructured covariance [26].

For the monthly measurements (LW and CC), the same model was used but with 12 months of observation and they were analysed as repeated measures over time, with first-order autoregressive covariance (AR 1).

A similar model was used for the calves, being analyzed as repeated measures, with treatment, block, postpartum days, sex and their interactions as fixed effects, and a random effect of the animal.

For biomass and height, recorded monthly, a mixed linear model (MLM) with fixed effects of the treatment, the measurement period, the block and its interactions were adjusted and analyzed as repeated measurements in time, with a structure of autoregressive covariance of order 1 (AR 1) [26].

3. Results

3.1. Forage mass, height and chemical composition

Both biomass and height of the pasture had marked differences between treatments ($P < 0.0001$), between seasons ($P < 0.0001$) and their interaction ($P < 0.0129$ and 0.0012 for biomass and height respectively), which is associated with greater accumulation of biomass during summer and autumn of year 2016 (Figure 1).

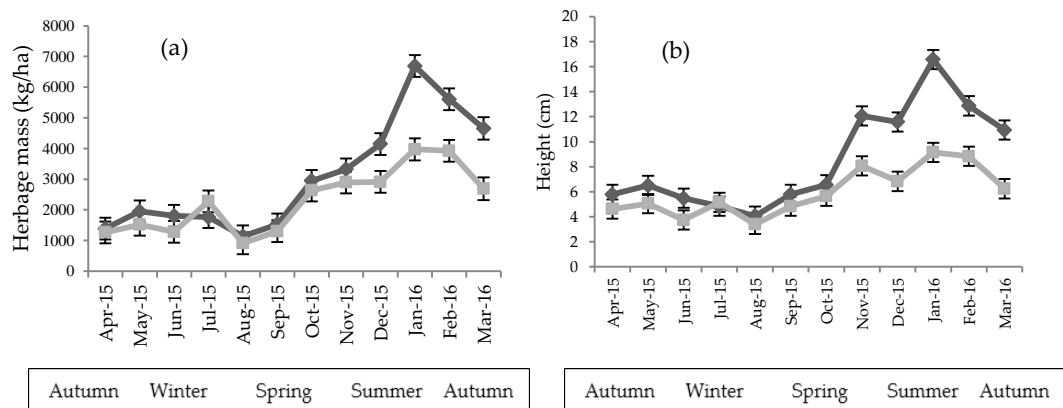


Figure 1. Evolution of herbage mass (a) and height (b) according to Herbage Allowance (HA8, black line and HA5, grey line). Least squares means (\pm standard error) from Autumn 2015 to Autumn 2016 (Autumn: March, April, May; Winter: June, July, August; Spring: September, October, November and Summer: December, January, February).

The chemical composition of the pasture offered during the 3 periods of measurement (Table 1), was not affected by treatments, nor between periods or their interaction, except for the percentage of crude protein, which was greater and similar between treatments in November sampling (9.7%).

Table 1. Chemical composition of herbage on HA8 and HA5 treatments, in three sampling periods (P1: May, P2: August, P3: November), in the year 2015.

	P 1		P 2		P 3		P Value								
	HA8		HA5		HA8		HA5								
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE							
CP(%)	6.5	0.3	7.3	0.4	7.4	0.3	6.3	0.4	9.5	0.3	9.8	0.3	ns	<0.05	ns
OM (%)	85	3.9	86	5.5	86	3.9	89	5.5	89	3.9	90	3.9	ns	ns	ns
NDF(%)	78	4.0	64	5.7	72	4.0	74	5.7	69	4.0	71	4.0	ns	ns	ns
ADF (%)	43	2.4	34	3.4	37	2.4	36	3.4	35	2.4	35	2.4	ns	ns	ns
GE(Mcal/kg MS)	4	0.2	3.7	0.3	3.8	0.2	4.2	0.3	4.2	0.2	4.2	0.2	ns	ns	ns

3.2. Live weight and Cow body condition score

LW and BCS did not present differences between treatments (369 kg PV and 3.91 CC, $P = 0.7116$ and $P = 0.6211$, LW and BCS respectively), as well as interaction with seasons ($P = 0.2419$ and 0.7161), but values among seasons differed in a very significant way ($P < 0.0001$, Figure 2).

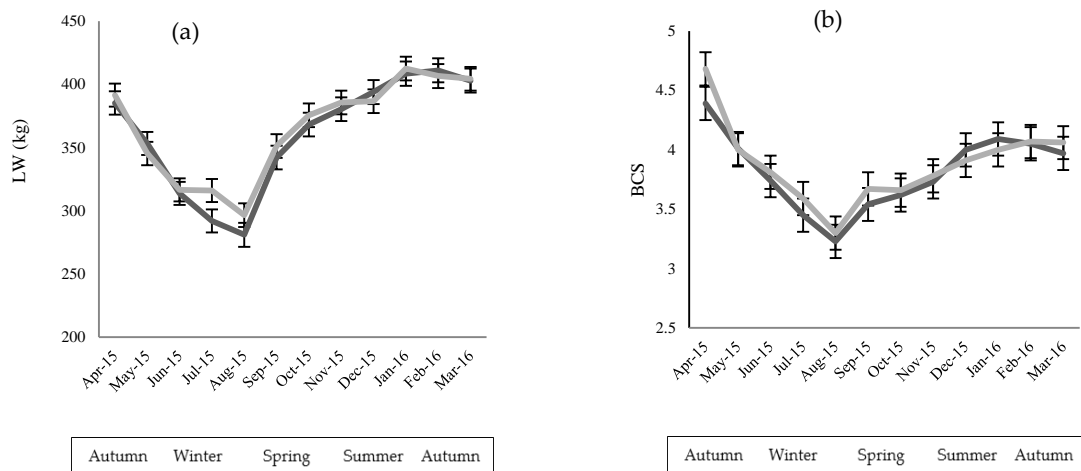


Figure 2. Evolution of LW (a) and BCS (b) according to Herbage Allowance (HA8, black line and HA5, grey line). Least squares means (\pm standard error) from Autumn 2015 to Autumn 2016 (Autumn: March, April, May; Winter: June, July, August; Spring: September, October, November and Summer: December, January, February).

In winter, the lowest LW and BCS values were reached (303 ± 5.6 kg and 3.5 ± 0.08), but in spring a recovery begins (367 ± 5.7 kg and 3.7 ± 0.08). The highest LW was registered in summer and autumn of 2016 (404 ± 7.1 kg). However, BCS start to recover but without reaching the original values at the beginning of the trial (4.0 ± 0.08).

3.3. Digestibility and Dry matter intake

The OM digestibility (OMD) of the selected pasture was relatively similar between treatments and periods, with an average of 67.4%. Only in P3, the HA8 treatment presented a higher value (68.0%, $P < 0.05$). DM digestibility (DMD) presented a similar behavior, with an average of 65.9%, and in this case the lowest value was reached in P3 HA5 (64.3%, $P < 0.05$), possibly due to a higher ash content in the pasture sample analyzed in this treatment (Table 1).

The OM intake (OMI) from the estimation of excreted feces and digestibility showed similar values between treatments in both P1 (May) and P2 (August), with an average of 6.2 kg OM/d. In P3 (November) OMI increased but was similar between treatments, with an average of 10.8 kg OM/d. DMI shows different results depending on the ash contents of the pasture samples analyzed in each treatment and period, with higher values in HA8 in both P1 and P3, and similar among treatments in P2 (6.9 kg DM/d on average. When we expressed it as a proportion of LW, DMI presented values between 2% (P2) to 3% in P1 and P3 (Table 2).

Table 2. Effect of herbage allowance on fecal output, OMD, DMD, OMI and DMI per day and as a proportion of LW, by grazing pregnant heifers on HA8 and HA5 treatments.

	P 1		P 2		P 3		<i>P Value</i>								
	HA8		HA5		HA8					HA5					
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	HA	P	HA*P				
Fecal output (kg OM/d)	2.3	0.15	2.0	0.15	1.9	0.16	2.1	0.17	3.6	0.15	3.3	0.15	0.37	<0.001	0.2
OMD ¹ (g/kg OM)	670	2.1	672	2.1	673	2.2	675	2.6	680	2.2	673	2.2	0.39	0.003	0.01
DMD ² (g/kg DM)	661	4.6	663	4.3	663	4.6	662	4.8	662	4.2	643	4.2	0.11	0.01	0.11
OMI ³ (kg/d)	6.7	0.47	6.1	0.47	5.7	0.52	6.4	0.55	11.4	0.47	10.1	0.47	0.3	<0.001	0.13
DMI ⁴ (kg/d)	8.9	0.55	7.3	0.52	6.6	0.55	7.2	0.58	12.9	0.50	11.1	0.50	0.05	<0.001	0.06
DMI (% LW)	2.6	1.60	2.1	1.50	2.3	1.60	2.3	1.70	3.4	1.50	3.0	1.50	0.04	<0.001	0.27

¹Organic matter digestibility ²Dry matter digestibility ³Organic matter intake ⁴Dry matter intake

3.4. Methane emission

Daily methane emissions measured per animal did not differ between treatments, but there was an effect of the measurement period, with higher values in P3 associated with higher DMI, although this same variable expressed as gross energy intake (Ym,%) or as g CH₄/kg DMI was similar among treatments and between periods. However, it is worth highlighting the highest value in terms of methane yield observed in the HA5 treatment in P3, associated with a high methane measurement in this treatment (although not significantly different from the value measured in HA8 P3). Finally, methane emission expressed per unit of LW presents higher values in P3 (but similar between treatments) explained by the greater estimated DMI in this period (Table 3).

Table 3. Effect of herbage allowance on daily methane emission, methane yield and per kg of LW, by grazing pregnant heifers on HA8 and HA5 treatments.

	P1		P2				P3				<i>P Value</i>					
	HA8		HA5		HA8		HA5		HA8		HA5		HA	P	HA*P	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE				
Methane emission (g/a/d)	170	13.6	148	13.1	140	13.2	160	12.9	294	13.6	329	13.6	0.35	<0.001	0.08	
Methane yield																
as Gross Energy intake (Ym)	6.3	0.57	7.2	0.57	7.6	0.56	7.5	0.67	7.2	0.52	8.6	0.54	0.12	0.14	0.41	
as g methane/kg DMI	21.7	2.04	21.7	1.93	21.6	1.99	23.7	2.35	23.9	1.85	29.1	1.85	0.15	0.04	0.40	
g methane/kg LW	0.49	0.03	0.43	0.03	0.49	0.03	0.51	0.03	0.72	0.04	0.80	0.04	0.66	<0.001	0.10	

4. Discussion

Herbage allowance as a consequence of grazing management was associated with different average biomasses of the 12 months of evaluation performed in this experiment, being higher in HA8 (3193 vs 2290 ± 148 kg DM / ha / month, HA8 and HA5 respectively) ($P < 0.001$). The forage allowances with seasonal changes generate fluctuations in the production and accumulation of forage that produce and accumulate forage in the spring which will then be used the rest of the year. The concept behind the forage allocation strategy is to maintain greater forage mass during the growing season and to consume it during the period when growth drops or becomes zero [14]. This strategy is possible because beef cows can lose BCS during the gestation period and then recover it during the lactation period (spring) without significantly affecting the productive performance [27]. The forage that remains standing during the spring contributes to the increase of the average monthly forage mass of the system [28].

The predominance of C_4 species in natural pastures helps to explain that the forage mass was concentrated during spring and summer, and the forage growth pattern was probably controlled by the winter temperature and the precipitations in spring and summer [29].

The variations of LW and BCS during the experiment were important but similar. There were substantial losses of weight during the winter period, which is then recovered during the spring. The purpose of transferring forage from spring (time of greatest growth), to the rest of the seasons, is based on attenuating this imbalance between forage allowance and animal requirements. In this particular experiment, as it was a year of adjustment, this surplus had not yet been generated to counteract this decoupling, which is added to the fact that the energy requirements of primiparous cows are higher than those of adult cows [30], is likely to have resulted in a more pronounced imbalance.

If we observe the BCS in autumn, at the beginning of the present trial, and heights present in both HA, we saw that they were below from those needed to be able to achieve the optimum. The minimum conditions that are required for this type of cows, if the goal is to achieve a high pregnancy rate in the next breeding season, is 5.5 and 6 points of BCS (for heifers and primiparous cows) grazing forages with at least 9 cm height [31]. In addition, lactating cows have 30% more requirements than non-lactating cows and these requirements are increased in primiparous cows, to which the growth requirements are added [32].

Perhaps for this reason, despite expressing differences in biomass and height in both treatments since spring, these structural changes in the pasture were not enough to mitigate the negative effects of lack of energy at times of higher requirements (late autumn and winter), which affected to a greater extent due to its condition of primiparous. Therefore, this negative effect could not be counteracted in the short term, probably requiring more time and energy input than that which was started to be obtained since the end of spring in this trial.

In terms of DMI, the values reported in this paper are similar to the values calculated based on the Feeding Standards for Australian Livestock [33] and NRC [34,35] (Table 4).

Table 4. Intake estimated according to requirements and measured with chromium oxide according to herbage allowance and sampling period (P1: May, P2: August, P3: November), by grazing pregnant heifers in 2015.

	P 1		P 2		P 3	
	HA8	HA5	HA8	HA5	HA8	HA5
Estimated according to Requirements *						
OMI (kg/d)	5.7	5.6	5.8	6.6	10.6	10.7
Measured with Cr ₂ O ₃						
OMI (kg/d)	6.7	6.1	5.7	6.4	11.4	10.1

*NRC 1984 and CSIRO 2007

OM intake values were similar between treatments in autumn and winter and higher in spring, probably associated with higher biomass and height. On average, the DMI in spring was equivalent to 3% of the LW and slightly lower (2%), the rest of the periods, very similar to Moscat [36], who obtained 2.01%, in steers in natural grassland with herbage allowance of 3.4 kg DM/kg LW. Probably, the differences in DMI observed in this trial are not enough to express these divergences at the level of changes in body composition between treatments, because they are very close to the voluntary intake of cows in this type of pasture.

According to Nabinger [37], the daily DMI capacity of a bovine is about 3% of its live weight, or even more, depending on the quality of the forage and its category. The maximum intake per animal is reached when there is no more physical limitation to consumption and when the animal has the maximum possibility of selecting its diet. This occurs when the animal has about four to five times more available than it can consume per day, which is equivalent to 12 to 13% DM/100 kg LW/ day, approximately 3.5 kg DM/kg LW.

The biomasses reached in this experiment in the first two seasons (autumn, winter), were close to those considered desirable minimums to obtain the expected intake (between 1390 and 1670 kg DM/ha) for both offers, however the cows also had considerable weight losses and BCS. This may be associated in part with their higher requirements due to their physiological state (advanced pregnancy) and their primiparous condition, but also these biomass levels did not have a relation with the height of forage necessary to be easily consumed by the animals, so it could be explaining also these results. Surely the high requirements of the cows and the low accessibility of the pasture given by the distribution of the biomass, are explaining to a greater extent the losses occurred during this period.

Forage intake is affected by available biomass even if forage allowance is similar [38, 39, 40, 41]. Studies carried out by Pérez-Prieto and Delagarde [42], and Loza [25], showed that the forage allowance in pastures with lower biomass is regulated by offering a larger area per animal, but this compensation does not take into account the proportion of forage left below of the accessibility of cattle, which is higher the lower is the biomass per unit area (forage is denser the closer to the base of the tillers).

Daily methane emission values were similar between treatments, with lower values in autumn and winter, and higher values in spring associated with higher forage intake. By the way, the yield of methane per unit of forage intake varied between 21.6 and 29.1, a bit high compared to that reported in the literature [43]. Possibly, this is due to the average emission value of methane registered in this treatment, at the top of the range for this type of cattle according to the mentioned authors. Nevertheless, the mean value of methane yield

recorded in this experiment would be 23.6 g CH₄/kg DM in total agreement with what the literature reports for pastures with similar characteristics [44, 45].

However, methane expressed as a gross energy intake (Y_m), showed no differences between HA or between measurement periods, with an average value of 7.4%, as expected since the quality of the selected pastures did not vary between periods (OMD = 65.9% on average). The digestibility of the diet has a direct effect in reducing the intensity of CH₄ emission and CH₄ emissions per kg of DMI [46]. When DM digestibility increases from 55 to 60% with a crude protein of 120-140 g/kg DM, the mitigation effect on GHG emissions can be reduced by 5% [47].

The IPCC [48], proposes values of Y_m between 2% (feedlot with 90% of the diet based on concentrates) and 7.5% (cattle in different pastoral systems). Mieres et al. [49], found that the use of native pastures produced greater amounts of methane per unit DM intake than an improved or introduced pasture, as a result of their compositional characteristics.

The highest emissions of CH₄ were in the spring, doubling the other periods (312 vs 154 g/cow/d), as well as DMI, which exceeded the rest of the year by 38% (12 vs 7.5 kg DM/cow/d). Kamra et al. [50], suggest that there is a higher production of methane associated with feeding with C₄ species, predominant in Campos' natural pastures [29], probably due to a higher non-structural carbohydrates content and lignin, lower intake and slower passage rate [51]. Hammond et al. [52], and Savian et al [53], observed a positive linear relationship between dry matter intake and total methane emission in sheep fed sown pastures (*Trifolium repens* and *Lolium perenne*), probably in analogy with the trend in this experiment.

When we observe the following graph (Figure 3), we see how there would be a tendency to fulfill this premise in this trial, although with a fairly wide dispersion among individuals of the population, typical of the intra- and interspecific divergence of the grassland and the selectivity possibly increased by a greater amount of available forage, similar to what happened in the Moscat trial [36]. The coefficient of determination (R²= 0.42) in this case tells us that 42% of the methane emitted would be explained by the MS consumption.

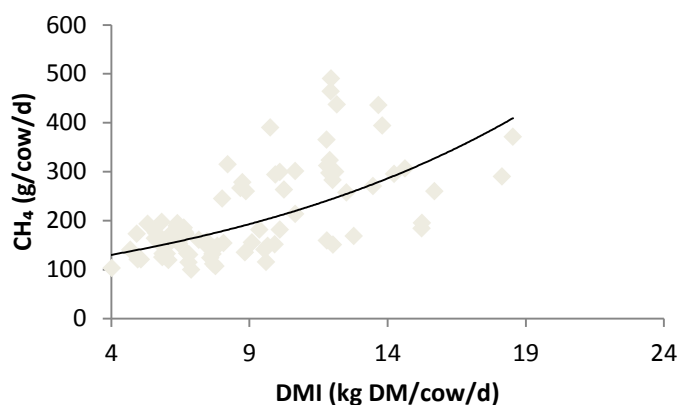


Figure 3. Relationship between DMI (kg DM/cow/d) and methane emissions (g/cow/d), in the three measurement periods (P1: May, P2: August, P3: November), in year 2015.

According to Kurihara [54], the relationship between CH₄ emission and DMI is curvilinear, where the CH₄ increases up to a certain level of intake and from this point the emission rate decreases, due to the increase in the flow of intake that interfere with the

process of fermentation of methanogenesis [55], decreasing the digestibility rate of organic matter [56, 57].

Regarding the contribution of the breeding system of methane emissions at the country level, as observed, the daily emissions per animal (autumn, winter: 155 and spring: 312 g CH₄/cow/d, on average), were similar to those reported at the regional level by Moscat [36], (autumn, winter and summer: 139 and spring: 269 g CH₄/cow/d) and Machado, 2015, (HA4 and 8%: 148 and HA12 and 16%: 113g CH₄/cow/d), in Rio Grande do Sul.

Also, Hammond et al. [58], measuring in respiration chamber, found CH₄ emissions of 230 and 218 g / d for cattle fed with ryegrass (*Lolium*) and clover (*Trifolium*) respectively and Schonbach et al. [59], for bovines managed on native pastures in Mongolia, found emissions of 277 g/d at moderate grazing intensities.

5. Conclusions

This experiment has allowed measurement of dry matter intake and individual methane emissions from breeding cows during three relevant periods of the productive cycle (medium gestation, final gestation, and lactation), providing unique information to uruguayan breeding systems. Emission factors (Y_m) were obtained for our conditions that could be used in national GHG inventory calculations, which represents a significant contribution.

Acknowledgments: This research was supported by grants from the National Agency for Research and Innovation (ANII) and the Faculty of Agronomy-UDELAR.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Allen, V. G.; C. Batello, E. J.; Berretta, J.; Hodgson, M.; Kothmann, X. Li, J.; McIvor, J.; Milne, C.; Morris, A.; Peeters, and M. Sanderson. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass Forage Sci.* 2011. 66: pp 2–28.
2. Soriano, A. Río de la Plata Grasslands. En: Coupland RT (Ed.). *Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere.* Amsterdam: Elsevier. 1991. pp. 367–407.
3. Carvalho, P.; Nabinger, C.; Lemaire, G.; Genro, C. Challenges and opportunities for livestock production in natural pastures: the case of Brazilian Pampa Biome. En: Feldman S, Oliva G, Sacido M (eds.). *Diverse Rangelands for a Sustainable Society, IX International Rangeland Congress.* Rosario, Argentina. 2011. pp 9-15.
4. Picasso, V. 2013. Sustentabilidad ambiental y resiliencia de la ganadería en campo natural frente a cambios en la intensidad de pastoreo. Proyecto INNOVAGRO. FSA_1_2013_1_12906
5. DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). Anuario estadístico agropecuario. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Montevideo: Dirección de Estadísticas Agropecuarias. 2013. Disponible en: www.mgap.gub.uy/diea. Fecha de acceso: 10/02/15
6. Pelletier, N.; Pirog, R.; Rasmussen, R. Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems.* 2010. 103: pp 380-389.

7. Beauchemin, K.A.; Janzen, H.H.; Little, S.M.; Mc Allister, T.A.; McGinn, S.M. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems*. 2010. 103: pp 371-379.
8. Becoña, G. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de cría vacuna del Uruguay. Tesis MSc. Montevideo: Facultad de Agronomía. 2012. 69 p.
9. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, forestry and other land use. In H. Dong J, Mangino T, McAllister A, Hatfield JL, Johnson DE, Romanovskaya A. Emissions from livestock and manure management. Hayama, Kanawaga, Japan: IGES. Consulted 5 march 2017. 2006. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
10. Becoña, G.; Astigarraga, L.; Picasso, V. Greenhouse gas emissions of beef cow-calf grazing systems in Uruguay. *Sustainable Agriculture Research* Vol. 3 (2). 2014. pp 89-105.
11. Soca, P.; Carriquiry, M.; Do Carmo, M.; Scarlato, S.; Astessiano, A.L.; Genro, C.; Claramunt, M.; Espasandín, A.C. Oferta de forraje del campo natural y resultado productivo de los sistemas de cría vacuna del Uruguay: I Producción, uso y conversión del forraje aportado por campo natural. En: Quintans G, Scarsi A (Eds). Seminario de actualización técnica: Cría Vacuna. Montevideo: INIA. 2013. pp 97-118.
12. Sollenberger, L.; Moore, J.; Allen, V.; Pedreira, C. Reporting herbage allowance in grazing experiments. *Crop Science*. 2005. 45: pp 896-900.
13. Mott, G.O. Grazing pressure and the measurement of pasture production. In: Proceedings of the eighth international grassland congress. 11 -21 July, University of Reading, Berkshire, England. 1960.
14. Do Carmo, M. Efecto de la oferta de forraje y genotipo vacuno sobre la productividad de la cría vacuna en Campos de Uruguay. Tesis MSc. Montevideo: Facultad de Agronomía. 2013. 74 p.
15. Haydock, K.P. and Shaw, N.H. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 1975. 15: 663-670.
16. Hodgson, J. Grazing Management: Science into Practice. Harlow, Essex, UK. Longman Handbooks in Agriculture. 1990.
17. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis, 15th ed. Virginia (NV), AOAC, USA. 1990. pp.770-771.
18. Van Soest, P.J.; Roberston, J.B.; Lewis, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 1991. 74, 3583-3597.
19. Vizcarra, J.A.; Ibañez, W.; Orcasberro, R. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas*. 1986. 7: pp 45-47.

20. Coates, D.B. and Penning, P. Measuring animal performance. In 'Field and laboratory methods for grassland and animal production research'. (Eds L'tMannetje, RM Jones) (CAB International: Wallingford, Oxon, UK). 2000. pp. 353-402.
21. Comeron, E. ; Peyraud, J. Prediction of herbage digestibility ingested by dairy cows. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 1993. 13: 23-30
22. William, C.; David, D.; Lismoa, O. The determination of chromic oxide in fecal samples by atomic absorption spectrophotometry. *Journal of Agricultural Science.* 1962. 59: 381-385.
23. Gere, J. and Gratton, R. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and other applications. *Lat. Am. Appl. Res.* 2010. 40: 377-382.
24. Dini, Y.; Gere, J.; Briano, C.; Manetti, M.; Juliarena, P.; Picasso, V.; Astigarraga, L. Methane emission and milk production of dairy cows grazing pastures rich in legumes or rich in grasses in Uruguay. *Anim.* 2. 2012. 2, 288-300.
25. Loza, C. Consumo, gasto energético y emisiones de metano de vacas lecheras pastoreando a diferentes biomásas. Tesis MSc. Montevideo: Facultad de Agronomía. 2017. 83 p.
26. Littell, R.; Pendergast, J.; Natarajan R. Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Stat. Med.* 2000. 19, 1793-1819.
27. Freetly, H.C.; Ferrell, C.L.; Jenkins, T.G. Timing of realimentation of mature cows that were feed-restricted during pregnancy influences calf birth weights and growth rates. *Journal of Animal Science.* 2000. 78:2790-2796.
28. Wales, W.J.; Doyle, P.T.; Stockdale, C.R.; Dellow, D.W. Effects of variations in herbage mass, allowance, and level of supplement on nutrient intake and milk production of dairy cows in spring and summer. *Australian Journal of Experimental Agriculture.* 1999. 39:119-130.
29. Berretta, E.J.; Risso, D.F.; Montossi, F.; Pigurina, G. "Campos in Uruguay." En: 'International symposium on grassland ecophysiology and grazing ecology.' Wallingford Oxon: CABI Publishing. 2000. pp 377-394.
30. NRC (National Research Council). Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. Washington, DC: National Academy Press. 2000. 248 p.
31. Soca, P. ; Orcasberro, R. Propuesta de Manejo del Rodeo de Cría en base a Estado Corporal, Altura del Pasto y Aplicación del Destete Temporario. En: Evaluación Física y Económica de Alternativas Tecnológicas en Predios Ganaderos. Paysandú: Estación Experimental M. A. Cassinoni, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 1992. pp. 54-56.
32. Freetly, H.C.; Nienaber, J.A.; Brown-Brandl, T. Partitioning of energy during lactation of 336 primiparous beef cows. *Journal of Animal Science.* 2006. 84: 2157-2162.
33. CSIRO (Feeding Standards for Australian Livestock). Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO Publishing, Melbourne, AU. 2007.

34. NRC (National Research Council). Nutrient Requirements of Beef Cattle (6th Ed.). National Academy Press, Washington, DC. 1984.
35. Davis, K.C.; Tess, M.W.; Kress, D.D; Doornbos, D.E.; Anderson, D.C. Life cycle evaluation of five biological types of beef cattle in a cow-calf range production system: I. Model development. *Journal of Animal Science*. 1994. 72:2585-2590.
36. Moscat, B. Emissão de metano e comportamento ingestivo de bovinos de corte em pastagem natural com diferentes níveis de intensificação. Universidade federal do rio grande do sul. Faculdade de agronomia. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Programa de pós-graduação em zootecnia. 2015. 138 p.
37. Nabinger, C.; Tonet Ferreira, E.; Freitas, A.K.; de Faccio Carvalho, P.C., Menezes Sant'Anna, D. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade De Patta Pillar V, Müller SC, de Souza Castilhos ZM, Ávila Jacques AV. (Eds,) Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2009. pp 175-198.
38. Peyraud, J.L.; Comeron, E.A.; Wade, M.; Lemaire, G. The effect of daily herbage allowance, herbage mass and animal factors upon herbage intake by grazing dairy cows. *Ann. Zootech.* 1996. 45, 201-217.
39. Delagarde, R.; Peyraud, J.L.; Delaby, L.; Faverdin, P. Vertical distribution of biomass, chemical composition and pepsin - cellulase digestibility in a perennial ryegrass sward: interaction with month of year, regrowth age and time of day. *Animal Feed Science and Technology*. 2000. 84: 49-68.
40. Parga, J.; Peyraud, J.L.; Delagarde, R. Effect of sward structure and herbage allowance on herbage intake by grazing dairy cows. In: A.J. Rook, P.D. Penning (Eds), *Grazing management: The principles and practice of grazing for profit and environmental gain in temperate grassland system*. British Grassland Society, Occasional Symposium. 2000. 34, 61-66.
41. Pérez-Prieto, L.A.; Peyraud, J.L.; Delagarde, R. Does pre-grazing herbage mass really affect herbage intake and milk production of strip-grazing dairy cows. *Grass and Forage Science*. 2012. 68: 93-109.
42. Pérez-Prieto, L.A. and Delagarde R. Meta-analysis of the effect of pasture allowance on pasture intake, milk production, and grazing behavior of dairy cows grazing temperate grasslands. *J. Dairy Sci.* 2013. 96, 6671-6689
43. Jonker, A.; Molano, G.; Antwi, C.; Waghorn, G.C. Feeding lucerne silage to beef cattle at three allowances and four feeding frequencies affects circadian patterns of methane emissions, but not emissions per unit of intake. *Animal Production Science*. 2014. 5, 1350-1353.
44. Molano, G.; Clark, H.; Knight, T.W.; Cavanagh, A. Methane emissions from growing beef cattle grazing hill country pasture. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 2006. 66, 172-175.
45. Ricci, P.; Rooke, J.A.; Nevison, I.; Waterhouse, A. Methane emissions from beef and dairy cattle: quantifying the effect of physiological stage and diet characteristics. *Journal of Animal Science*. 2013. 91, 5379-5389.

46. Pinares-Patiño, C.S.; Waghorn, G.C.; Hegarty, R.S.; Hoskin, S.O. Effects of intensification of pastoral farming on greenhouse gas emissions in New Zealand. *NZ .Vet. Journal*. 2009. 57,252-261.10.1080/00480169.2009.58618
47. Beauchemin, K.A.; Janzen, H.H.; Little, S.M.; Mc Allister, T.A.; McGinn, S.M. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada– Evaluation using farm-based lifecycle assessment. *Animal Feed Science & Technology*. 2011. 166-167:663-667. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.047>
48. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2007. 976p.
49. Mieres J.; Olivera L.; Martino D.; La Manna A.; Fernández E.; Palermo R.; Gremminger, H. Methane emissions from Holstein heifers grazing contrasting pastures in Uruguay. Montevideo (UY): INIA, EPA. 2002. 7p. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4923/1/Mieres-J.-et-al.-Methane-emissions-from-Holstein-Heifers.pdf>
50. Kamra, N.D.; Agarwal, N.; Chaudhary, L.C. Effect of tropical feeds and plants containing secondary metabolites on methane emission by ruminants. *Tropical Animal Health and Production*. 2010. 1701: 1-23
51. McAllister, T.A.; Okine, E.K.; Mathison, G.W.; Cheng, K.J. Aspects 11i1-enJlires, Environnementaux et microbiologiques de la production de methane chez les ruminantts. *Can. J. Anim. Sci.* 1996. 76: 231-243. <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdfplus/10.4141/cjas96-035>
52. Hammond, K.J.; Burke, J.L.; Koolgaard, J.P.; Muetzel, S.; Pinares-Patiño, C.S.; Waghorn, G.C. Effects of feed intake on enteric methane emissions from sheep fed fresh white clover (*Trifolium repens*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*) forages. *Animal Feed Science. Technology*. 2013. 179: 121-132.
53. Savian, J.V.; Barth Neto, A.; David, D.B.; Bremm, C.; Schons, R.M.T.; Genro, T.C.M.; Amaral, G.A; Gere, J.; McManus, C.M.; Bayer, C.; Carvalho, P.C.F. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop–livestock system. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2014. 190: 112-119.
54. Kurihara, M.; Magner, T.; McCrabb, H.; McCrabb, G. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*. 1999. 81: 227-234.
55. Okine, E.K.; Mathison, G.W.; Hardin, R.T. Effects of changes in frequency of reticular contractions on fluid and particulate passage rates in cattle. *Journal Animal. Science*. 1989. 67: 3388–3396.
56. Sauvant, D. and Giger-Reverdin, S. Variations in the production of CH₄ per unit of digestible organic matter intake. En: 'Ruminant physiology: digestion, metabolism and effects of nutrition on reproduction and welfare'. Chilliard Y., Glasser F., Faulconnier Y., Bocquier F.,

- Veissier I., Doreau M. Eds Wageningen Academic Publisher: Wageningen, The Netherlands. 2009. pp. 350–351.
57. Machado, I. Emissão de metano por bovinos sob níveis de oferta de forragem em pastagem nativa do Bioma Pampa. Universidade federal do rio grande do sul. Faculdade de agronomia. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Programa de pós-graduação em zootecnia. 2015. 96p.
58. Hammond, K.J.; Humphries, D.J.; Westbury, D.B.; Thompson, A.; Crompton, L.A.; Kirton, P.; Green, C.; Reynolds, C.K. The inclusion of forage mixtures in the diet of growing dairy heifers: Impacts on digestion, energy utilization, and methane emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014.197:88–95.
59. Schonbach, P.; Wolf, B.; Dickhöfer, U.; Wiesmeier, M.; Chen, W.; Wan, H.; Gierus, M.; Butterbach-Bahl, K.; Kögel-Knabner, I.; Susenbeth, A.; Zheng, X.; Taube, F. Grazing effects on the greenhouse gas balance of a temperate steppe ecosystem. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2012. 93: 357–371.

7.2. ANEXO 2

Cronograma de mediciones durante el experimento

	Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero		Marzo		Abril	
Biomasa		20		21		22		20		28		29		28		25		21		21		23		30		
PV		24		19		29		22			7			9	3		4	28		25			3	30		
CC		24		19		29		22			7			9	3		4	28		25			3	30		
Metano				20	9					12						27		22								
Consumo			4		25					4						16	7									
Prod. Leche																	1									
Comportamiento																	25	17								
Destete																										12
Parto												15														
Ajuste Carga		24		23			1	28			7			9	4		4	28		25			4			

7.3. ANEXO 3

Composición química de las heces en dos ofertas de forraje (AOF y BOF, promedio anual), en tres períodos de muestreo (P1: mayo, P2: agosto, P3: noviembre), en el año 2015.

	P 1		P2				P3				<i>P Valor</i>				
	AOF		BOF		AOF		BOF		AOF		BOF		OF	P	OF*P
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE			
MS (%)	92.0	0.16	91.8	0.16	92.6	0.17	92.7	0.18	90.5	0.16	91.1	0.16	0.215	<0.0001	0.031
C%	14.6	0.33	14.8	0.31	16.2	0.33	15.8	0.36	17.0	0.32	16.5	0.32	0.397	<0.0001	0.4132
PC (%)	6.6	0.13	6.8	0.13	7.8	0.14	7.8	0.15	12.0	0.13	11.4	0.13	0.285	<0.0001	0.0116
MO (%)	85.4	0.33	85.2	0.31	83.8	0.33	84.2	0.36	83.0	0.32	83.5	0.32	0.397	<0.0001	0.4132
FDN (%)	67.4	0.52	67.54	0.49	66.82	0.53	65.68	0.58	68.73	0.5	71.17	0.5	0.319	<0.0001	0.0021
FDA (%)	34.98	0.37	34.32	0.36	35.26	0.39	34.49	0.42	38.54	0.36	39.82	0.36	0.862	<0.0001	0.0113

7.4. ANEXO 4

Estimación del consumo en base a CSIRO y NRC

CSIRO, 2007

$$\text{EM forraje (Mcal/kg MO)} = (0.169 * \text{DMO} - 1.986) / 4.18$$

$$\text{km} = (0.02 * \text{EMforraje} * 4.18) + 0.5$$

$$\text{kg} = 0.042 * \text{EMforraje} * 4.18 + 0.006$$

$$\text{Egraze (En pastoreo)} = (((0.006 * 5 * (0.9 - 0.5)) + (0.05 * 1 / (\text{biomasa ton MS} + 3))) * \text{PV/km}) / 4.18$$

NRC, 1984 (Davis et al., 1994)

EM Mantenimiento:

$$\text{EMm} = 1 * 0.081 * \text{PV}^{0.75} / \text{km}$$

EM Ganancia de peso (para animales mayores a 3 años):

$$\text{EMg} = 0.0686 * \text{PV}^{0.75} * \text{GMD}^{1.119} / \text{kg}$$

Aportes por pérdida:

$$\text{EMg} = \text{GMD} * 6.2 / \text{km}$$

Aportes por pérdida durante lactancia:

$$\text{EMg} = \text{GMD} * 6.2 * 0.82 / \text{km}$$

EM gestación

$$\text{EMgest} = \text{PN} * (0.0149 - 0.0000407 * \text{DG})$$

EM litro leche

EM litro = $(0.1*(4.5)+0.35)/\text{km}$ (curva lactancia, curso Nutrición II Cría Vacuna, Soca 2016)