

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO EN VACAS DE
CRÍA GESTANTES PASTOREANDO DOS DIFERENTES OFERTAS
DE FORRAJE**

por

**Felipe Tomás DEANA SECCHI
Camila NAVARRO BLANCO**

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2020**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. PhD. Mariana Carriquiry

Ing. Agr. Ana Espasandin

Ing. Agr. Dra. Ana Inés Trujillo

DMV, Dr. Alberto Casal

Fecha: 27 de febrero de 2020

Autores:

Felipe Tomás Deana Secchi

Camila Navarro Blanco

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a nuestra directora de tesis Mariana Carriquiry, por su tiempo brindado y dedicación durante la elaboración de este trabajo.

A los profesionales que nos ayudaron durante la parte práctica, Alberto Casal, Martín Claramunt, Martín Do Carmo, Jimena Gómez, Alejandra Jasinsky, Soledad Orcasberro, Daniel Talmón, Federica Marín, por su disposición y aportes que nos facilitaron la obtención de datos de campo.

A su vez a los funcionarios de la EEBR, que nos recibieron en la estación, nos acompañaron y colaboraron durante los períodos de medición.

A Sully Toledo y las funcionarias de biblioteca por su colaboración en la realización del formato y bibliografía del presente trabajo.

A nuestras familias y amigos por apoyarnos a lo largo de toda la carrera haciendo que esto sea posible.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. <u>OBJETIVOS</u>	2
1.1.1. <u>Objetivo general</u>	2
1.1.2. <u>Objetivos específicos</u>	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>CONCEPTOS DE BIOENERGÉTICA</u>	3
2.1.1. <u>Aporte de energía de los alimentos</u>	3
2.1.2. <u>Demanda de energía de los animales</u>	4
2.1.2.1 <u>Energía de mantenimiento</u>	5
2.1.3. <u>Eficiencia en la utilización de la energía</u>	7
2.2. <u>MANEJO DE LA NUTRICIÓN Y DEL GENOTIPO DE VACAS DE CRÍA EN CAMPO NATURAL</u>	9
2.2.1. <u>Estacionalidad del campo natural</u>	9
2.2.2. <u>Relación entre oferta de pasto y eficiencia productiva del animal</u> ..	10
2.2.3. <u>Efecto del genotipo sobre la eficiencia productiva del animal</u>	11
2.3. <u>MÉTODO DEL PULSO DE OXÍGENO PARA DETERMINACIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO</u>	12
2.4. <u>HIPÓTESIS</u>	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
3.1. <u>LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL</u>	15
3.2. <u>DISEÑO EXPERIMENTAL ANIMALES Y TRATAMIENTOS</u>	15
3.3. <u>DETERMINACIONES</u>	16
3.4. <u>CÁLCULOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	17
4. <u>RESULTADOS</u>	19
5. <u>DISCUSIÓN</u>	25
6. <u>CONCLUSIONES</u>	29

7. <u>RESUMEN</u>	30
8. <u>SUMMARY</u>	31
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	32

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Número de hectáreas de cada parcela por bloque.....	15
2. Oferta de forraje (OF), disponibilidad de forraje y altura a lo largo del período experimental.....	16
3. Partición de la energía de vacas gestantes puras (PU; Hereford y Aberdeen Angus) y sus cruzas (F1) durante otoño-invierno pastoreando alta (AOF) y baja oferta (BOF) en campo natural (8y5 kgMS/ kgPV promedio anual, respectivamente).....	23
4. Partición de la energía por unidad de peso metabólico en vacas gestantes puras (PU; Hereford y Aberdeen Angus) y sus cruzas (F1) durante otoño-invierno pastoreando alta (AOF) y baja oferta (BOF) en campo (8 y 5 kgMS/ kgPV promedio anual, respectivamente).....	24
Figura No.	
1. Esquema de la partición de la energía consumida.....	3
2. Partición de nutrientes en vacas de cría.....	5
3. Utilización de la energía metabolizable (EM) consumida.....	7
4. Distribución estacional de producción de forraje de la unidad Fraile Muerto y Yaguarí liviano.....	9
5. Protocolo experimental.....	16
6. Partición de la energía de vacas de cría pastoreando diferentes ofertas de forraje durante la gestación.....	20
7. Partición de la energía de vacas de cría de diferente grupo genético durante la gestación.....	21
8. Producción total de calor por unidad de peso metabólico a lo largo del día.....	22

1. INTRODUCCIÓN

La cría de bovinos de carne en Uruguay involucra 7.6 millones de hectáreas, representando el 50% de la superficie destinada al pastoreo, de la cual un 88% es campo natural. Particularmente, en Uruguay la misma presenta tres grandes limitantes; bajo porcentaje de destete, el cual en las últimas décadas ha sido de 65%, bajo peso de los terneros al destete, 150 kg y elevada edad al primer entore, de dos a tres años. Estas limitantes determinan una baja producción de carne de 70-81 kg/ha (MGAP. OPYPA, 2018). Para lograr incrementar la eficiencia y productividad del sector criador, se debe apuntar a mejorar los indicadores físicos-económicos sin aumentar los costos de producción.

La cría, basada fundamentalmente en el campo natural, es dependiente de la producción estacional de las pasturas que determina diferencias en cantidad y calidad del forraje a lo largo del año, estableciendo como principal limitante del proceso el consumo de nutrientes y energía. En particular, en el invierno e inicio de primavera, cuando la producción de forraje es baja y las vacas presentan alta demanda de nutrientes y energía, ya que se encuentran en el último tercio de gestación avanzada o inicio de la lactancia, se establece un balance energético negativo que determina una baja condición corporal (CC) al parto e inicio del entore (Soca et al., 2013a). Este balance energético negativo y baja CC de la vaca de cría en momentos claves del ciclo anual de producción explica, entre otros factores, la baja eficiencia productiva y reproductiva del sector.

Sin embargo, la información sobre gasto energético en vacas de cría en pastoreo es escasa a nivel nacional e internacional, información que sería clave para identificar estrategias de manejo que incrementen la competitividad del sistema criador y de producción de carne en general. Es así que, este trabajo busca generar información sobre el gasto energético de mantenimiento durante la gestación en otoño-invierno de vacas de cría de distinto genotipo pastoreando dos ofertas de forraje de campo natural.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la intensidad de pastoreo de campo natural sobre el gasto energético de mantenimiento y la eficiencia energética de producción durante la gestación (otoño-invierno) de vacas de cría puras (Hereford y Aberdeen Angus) y sus cruzas (F1).

1.1.2. Objetivos específicos

Cuantificar la producción total de calor (HP total), la energía retenida (ER) y la eficiencia energética durante la gestación de vacas de cría puras (Hereford y Aberdeen Angus) y sus cruzas (F1) pastoreando en alta y baja oferta de forraje (8 y 5 kgMS/kg PV promedio anual, respectivamente).

Contrastar los resultados de gasto energético (de mantenimiento y actividades) con los valores obtenidos a partir de los sistemas de alimentación internacionales.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCEPTOS DE BIOENERGÉTICA

El término “bioenergética” refiere a la economía energética de los organismos vivos (Nagy, 1989).

La energía puede definirse como la capacidad para realizar trabajo. En particular, el trabajo fisiológico es todo proceso llevado a cabo por el animal para crear y mantener su organización esencial y se realiza a partir de la energía que es liberada por los alimentos o por la movilización de reservas corporales. La energía puede clasificarse en energía química dependiente de la interacción átomos y moléculas, eléctrica a partir del movimiento de cargas +/-, cinética o mecánica que responde al movimiento organizado y por último el calor. En general, los animales no pueden utilizar el calor para realizar ningún tipo de trabajo fisiológico.

2.1.1. Aporte de energía de los alimentos

De la energía total consumida por el animal, no toda es utilizada, ya que parte del alimento se pierde en las heces, gases, orina y como calor (Mc Donald, 1999, Figura 1).

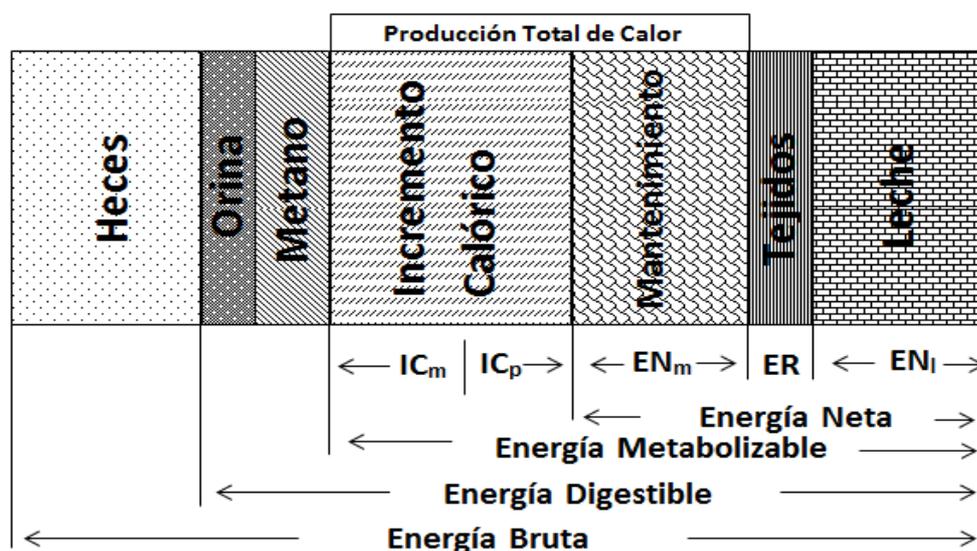


Figura 1. Esquema de la partición de la energía consumida

Fuente: adaptado de Brosh¹

¹ Brosh, A. 2015. Técnica del pulso de oxígeno. In: Eficiencia Energética de Rumiantes en Pastoreo (2015, Montevideo, Uruguay). Texto. (sin publicar).

La energía total consumida se denomina energía bruta (EB) es la que se libera como calor cuando una sustancia orgánica es oxidada completamente a dióxido de carbono y agua (Mendoza Martínez et al., 2008); es la energía que contiene un alimento (Rovira, 1996). Como se menciona anteriormente, no toda es utilizada ya que parte del alimento no se digiere y se pierde en las heces (Eh), una vez descontada la Eh, se obtiene la energía digestible ($ED = EB - Eh$). La misma depende de la digestibilidad del alimento, que está dada entre otros factores, por el tipo de alimento (por ejemplo, carbohidratos fibrosos vs. solubles), su procesamiento y consumo de MS o energía.

A su vez, una parte de la ED se pierde en los gases generados en la fermentación microbiana, producto de la digestión (Eg), y en la orina (Eo). En las pérdidas de gases, el principal es el metano (CH₄), aumenta con el consumo de carbohidratos con elevados niveles de pared celular (forraje), y disminuye con dietas que contengan una mayor proporción de almidón (concentrado) asociado a un incremento de la producción de propionato generando disminución en la relación metano/materia orgánica fermentada en el rumen (Johnson y Johnson 1995, Moss et al. 2000). Por otro lado, las pérdidas en orina principalmente bajo forma de urea dependen de la proteína de la dieta, de la relación proteína/energía y del equilibrio o desequilibrio de los aminoácidos (Bondi, 1989). La energía restante luego de estas pérdidas es denominada energía metabolizable ($EM = EB - [Eh + Eo + Eg]$).

Por último, para conocer la energía neta ($EN = EM - IC$) que dispone el animal, ya sea para mantenimiento (ENm), o producción (energía retenida; ER) se debe descontar de la EM el incremento calórico. El incremento calórico es conocido como el incremento en la producción de calor debido, principalmente, a los procesos metabólicos y a la fermentación cuando el animal consume el alimento. Por lo tanto, el incremento calórico varía considerablemente dependiendo de la naturaleza del alimento, la especie que consume dicho alimento y el proceso para el cual los nutrientes son utilizados (Wenk et al., 2001); definiendo la eficiencia parcial en uso del alimento para cada función biológica determinada.

2.1.2. Demanda de energía de los animales

La energía obtenida en el alimento es utilizada por el organismo para llevar a cabo distintas funciones fisiológicas o biológicas como son, entre otros el mantenimiento, síntesis de tejidos corporales y/o síntesis de productos. En la partición de la energía requerida para las diferentes funciones se ha comprobado que la vaca destina los nutrientes consumidos sobre la base de un cierto orden de prioridades, el cual es el siguiente: metabolismo basal, actividad, crecimiento, reservas energéticas básicas, gestación, lactación, reservas energéticas adicionales, ciclo estral e iniciación de la preñez, y por último reservas en exceso, y este orden puede variar dependiendo de las funciones que estén presentes y en qué nivel (Short et al., 1990, Figura 2).

El costo de mantenimiento es el principal componente del costo energético total, alcanzando valores durante el ciclo de cría vacuna, entre el 70 y 75% de la energía consumida, determinando que la misma se caracterice como un proceso largo e ineficiente (Ferrell y Jenkins, 1985).

El metabolismo basal se estima como una proporción del peso metabólico de cada animal ($PV^{0.75}$). Sin embargo, varía, entre otros factores, con la actividad metabólica de los órganos y tejidos (Milligan y Mc Bride 1985, Herd y Arthur 2009, Wang et al. 2009), la masa relativa de estos (McLeod y Baldwin 2000, Baldwin et al. 2004) y la composición corporal (Jenkins y Ferrell, 1994). Es así que, factores inherentes al animal como son las características de la raza o biotipo (Jenkins y Ferrell, 1994), el estado fisiológico y corporal (NRC, 2001) determinan diferencias en el costo de metabolismo basal, y por lo tanto de mantenimiento. Resultados previos indican que existe una gran variabilidad en el costo de mantenimiento entre razas (Baker et al., 1991) y entre animales de una misma raza (Solís et al., 1988) y se ha reportado que si se eliminan las condiciones externas como variable, el mayor costo de mantenimiento se debe a las diferencias de tamaño en el tejido visceral y al mayor contenido de proteínas tisulares (Di Marco, 2006).

Por otra parte, factores externos como el clima y la actividad en pastoreo afectan el requerimiento de mantenimiento (Aello, 2014). Los animales en pastoreo presentan un mayor gasto energético que los estabulados, reportando necesidades de mantenimiento 50% superiores (Osuji 1974, CSIRO 1990). Este gasto depende del tiempo de pastoreo, condicionado por la disponibilidad de forraje, las distancias recorridas para la cosecha, acceso al agua y topografía del terreno (Rovira, 1996). A su vez Susenbeth et al. (1998), reportaron que al disminuir la calidad del forraje, los requerimientos para consumo y rumia pueden incrementar desde un 10% a un 30% de la EM aportada por el alimento. La caminata incide en menos de un 5% por ser una actividad de corta duración que se realiza a baja velocidad, teniendo un costo energético bajo a moderado, sin embargo, el costo energético de mantenimiento puede incrementarse entre un 10 y 15% por la actividad extra de pastoreo, y cuando las condiciones son extremas y los animales deben pastorear muchas horas al día a alta tasa de bocado, este costo puede aumentar entre 25 y 30% (Di Marco y Aello, 2001), siendo la tasa de bocado, el componente de actividad de mayor costo energético y el de mayor incidencia en el mantenimiento de novillos en pastoreo (Di Marco et al. 1996, Di Marco y Aello 2001). Brosh et al. (2006b) publicaron que el total de los costos por actividad representan de un 5.8 a 11.4% del gasto de energía total por día en las distintas estaciones del año.

Cottrill et al. (2009) reportaron, que los requerimientos de energía para mantenimiento promediaban $490 \text{ kJ/ kg PV}^{0.75}$ para vacas Aberdeen Angus x Hereford entre 505 y 516 kg de PV, con un rango que iba de 444 a 707 $\text{kJ/ kg PV}^{0.75}$. Además estos autores indican que hay diferencias de 5 a 10 MJ/día por vaca en la energía de

mantenimiento medida en distintos experimentos y la calculada a partir de AFRC (1993), NRC (2000). A su vez, los requerimientos de energía para mantenimiento se encuentran positivamente relacionados con el consumo, observándose mayores requerimientos en vacas con dietas de mayor concentración energética (Cottrill et al., 2009). Por otra parte, con dietas que presentan menor concentración energética o situaciones de subnutrición reducen la energía de mantenimiento, esto se ve reflejado en diferencias en la cantidad de masa muscular a mantener, requerimientos de mantenimiento por $\text{kg PV}^{0.75}$ y/o producción de leche (Houghton et al. 1990, CSIRO 2007).

2.1.3. Eficiencia en la utilización de la energía

La ER o balance de energía en el animal es función del consumo de EM (CEM, Figura 3). Si no hay ingestión de EM (EM=cero), es decir, el animal está en ayuno, la ER es negativa; en esta situación, el animal utiliza sus reservas corporales mediante la movilización de las mismas, para proporcionar energía para el mantenimiento de sus funciones corporales esenciales, y esta energía es liberada del animal en forma de calor. A medida que aumenta la ingestión de EM, la pérdida de energía disminuye, es decir, la ER aumenta hasta que se iguala a cero, indicando que la EM es suficiente para cubrir las necesidades de mantenimiento del animal. Si la ingestión de EM sigue aumentando, el animal comienza a retener energía (ER es positiva), en sus tejidos corporales, o en productos como la leche.

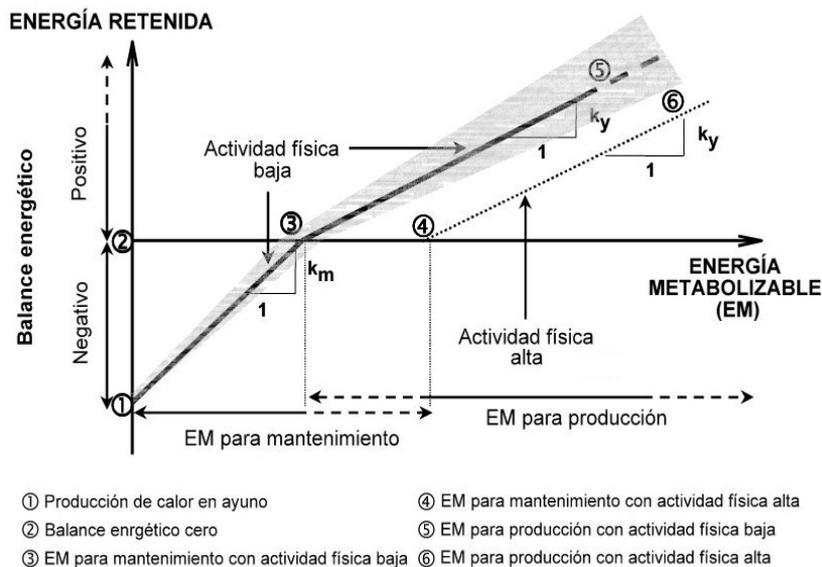


Figura 3. Utilización de la energía metabolizable (EM) consumida

Fuente: adaptado de Wenk et al. (2001).

La pendiente de la línea que relaciona la retención con la ingestión de energía es una medida de eficiencia parcial de utilización de la EM (k). Existe cierta controversia entre los investigadores (Mc Donald, 1999) sobre el hecho de que el cambio de pendiente sea repentino, o que la relación entre la retención y la ingestión de EM deba representarse como una curva continua. No obstante, conceptualmente es conveniente considerar una diferencia de utilización de la EM por encima o por debajo de mantenimiento.

Como se mencionó anteriormente, la naturaleza del alimento, la especie que consume dicho alimento y el proceso para el cual los nutrientes son utilizados afectan la eficiencia parcial de utilización de la EM (k; Wenk et al., 2001). Se ha reportado que la eficiencia de mantenimiento (km) varía según los sistemas de alimentación entre 0.61 y 0.67 (NRC, 2000) y entre 0.68 y 0.73 (AFRC, 1993) según la relación EM/EB (Cottrill et al., 1990).

La eficiencia de producción en la cría vacuna está fuertemente influenciada por la partición de la energía entre las funciones de mantenimiento y producción, asociada al balance energético de los animales, que se determina por el consumo y los costos energéticos de las funciones nombradas anteriormente (Dickerson, 1978). La eficiencia para convertir el alimento en producto será menor en cuanto mayor sea la proporción de energía consumida que se pierda en forma de calor (incremento calórico + ENm), debido a que será menor la energía retenida en tejido o producto.

La eficiencia energética en los sistemas de producción depende de la digestibilidad de los alimentos y el metabolismo de los nutrientes (eficiencia neta) pero también de la proporción de la energía consumida que es retenida y transformada en producto animal, es decir, de la partición de la energía entre mantenimiento y producción (Brody 1945, Kleiber 1975). Los factores que afecten el consumo de EM, la producción de calor o la partición de la ER entre proteínas y grasas afectarán la eficiencia para convertir el alimento en producto. Por ejemplo, el consumo de EM se puede ver afectado por aquellos factores que alteren el consumo de MS y/o la digestión; la producción de calor, por las variables que afectan el costo de mantenimiento; y la ER por las variables del animal que influyan en la composición corporal (Di Marco, 2006).

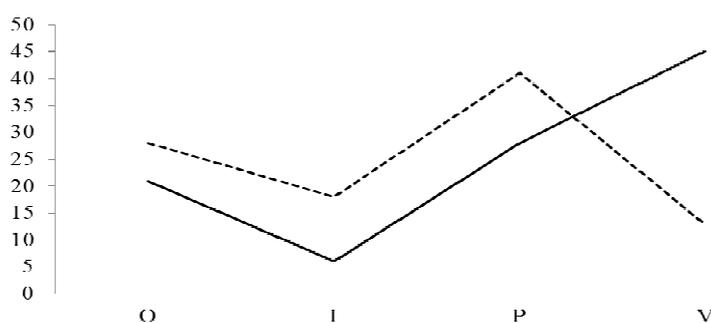
Al ser la energía el principal factor limitante en los sistemas de cría uruguayos, es fundamental lograr un uso eficiente de la misma a través de distintas herramientas. Los animales más eficientes son aquellos que consumiendo una determinada cantidad de energía, presentan una mejor performance productiva, como consecuencia de una menor producción total de calor.

2.2. MANEJO DE LA NUTRICIÓN Y DEL GENOTIPO DE VACAS DE CRÍA EN CAMPO NATURAL

En los sistemas de producción pastoriles la principal fuente de energía es la luz solar, la cual es captada por la pastura para luego transformarse en producto animal. El manejo del pastoreo permite regular la eficiencia con que la pastura va a captar y transformar la luz en energía para los animales, incidiendo de esta manera en la productividad y resiliencia del sistema productivo (Heitschmidt y Taylor, 1991). En Uruguay los sistemas de producción enfrentan condiciones ambientales muy variables a lo largo del año, resultando esto en diferentes producciones de forraje y al tener carga fija, definida como número de animales por hectárea, cambia la oferta de forraje a lo largo del año afectando la performance animal.

2.2.1. Estacionalidad del campo natural

Sobre el territorio nacional se desarrollan diversas praderas naturales como resultado de la asociación suelo-planta, presentando así diferentes producciones totales anuales y distribución estacional. La primavera es el momento del año que presenta mayor producción en todos los campos del país debido a las condiciones de radiación y temperatura de esta época. Por el contrario en invierno las ofertas de forraje son mínimas, en el resto de las estaciones la distribución cambia por zonas y tipo de suelo. La unidad Zapallar, donde se encuentra instalado el bloque I del experimento presenta predominancia estival, como en la mayoría de los campos del Uruguay, en cambio en los suelos de Fraile Muerto, donde está instalado el segundo bloque del experimento, presentan una producción primavera-otoñal (Figura 4).



* Formación Fraile Muerto (línea punteada); formación Yaguarí** (línea continua)

** De la formación Zapallar no hay información publicada, se utiliza Yaguarí liviano ya que es la que presenta un comportamiento similar

Figura 4. Distribución estacional de producción de forraje de la unidad Fraile Muerto y Yaguarí liviano

Fuente: Boggiano (2003).

Esto lleva a que la principal ineficiencia de los sistemas criadores ocurre porque durante el año la oferta de forraje (OF), definida como los kg de MS por kg de PV animal (Sollenberger et al., 2005), cuando la carga animal es fija, no acompaña a los requerimientos de nutrientes y energía de la vaca a lo largo del ciclo de producción anual (gestación-lactación), generando un desbalance energético principalmente durante el invierno. Durante esta época del año, los altos requerimientos del último tercio de gestación y de inicio de lactogénesis no se acompaña con una buena disponibilidad de forraje provocando que la vaca deba movilizar reservas y llegue al parto con baja CC, que explica el largo anestro posparto y el porcentaje de destete de los rodeos de cría en Uruguay (Soca y Orcasberro, 1992). Durante la primavera y el verano, la baja relación masa de forraje/carga animal, genera un balance energético negativo por el insuficiente consumo de energía durante la lactancia, el reinicio de la actividad sexual, y el elevado costo energético por actividad de pastoreo.

2.2.2. Relación entre oferta de forraje y eficiencia productiva del animal

La OF relaciona la cantidad de forraje y la carga animal, siendo la principal herramienta de control la intensidad de pastoreo; mejorando así la gestión del forraje durante el ciclo de la vaca. El manejo del pastoreo a través de la OF permitió incrementar la productividad de la pastura (Maraschin et al. 1997, Soares et al. 2003), mejoró los resultados productivos del rodeo de cría, ganancia diaria, carga animal, producción de carne (Soares et al. 2003, Stuedemann y Franzluebbers 2007) y como consecuencia los resultados económicos, promoviendo un ecosistema pastoril más resiliente a cambios climáticos dado por una masa y acumulación de forraje superior (Soca et al., 2013a).

El manejo de OF variable a lo largo del año en la cría tiene como principal objetivo mejorar el balance energético de los animales, buscando a través de dicha herramienta atenuar el desacople existente entre los requerimientos y el consumo de energía durante el ciclo de la vaca. Para esto se debe maximizar la producción de forraje en la primavera logrando acumular y diferir forraje hacia el otoño, donde se busca alcanzar la máxima diferencia entre los requerimientos energéticos de las vacas (siendo los mínimos del ciclo) y el consumo, ya que es el momento del año en el cual la vaca debe de mejorar su condición corporal, logrando llegar al invierno con una CC en multíparas de 5 y en primíparas 6, para así por medio de la movilización de reservas en el invierno lograr satisfacer las demandas energéticas que no logran cubrirse a través de la cosecha de forraje (Soca et al., 2007).

Do Carmo et al. (2018), reportan que durante los últimos 120 días de gestación tanto las vacas que se encontraban pastoreando alta OF como baja OF perdieron condición corporal, evidenciándose una pérdida más temprana en las de baja OF.

Además Soca et al. (2013a) demostraron que dicho manejo presenta un gran impacto, por su efecto en la ganancia diaria de PV, optimizando así la ganancia por unidad de superficie y por animal; coincidiendo con experimentos realizados en pastizales nativos en el Sur de Brasil durante 20 años (Nabinger et al., 1999).

En la EEER donde está montado el experimento del presente trabajo se evaluó el efecto de dos genotipos (Hereford y Aberdeen Angus puros vs. la F1 de sus cruza), en la productividad de vacas multíparas y primíparas (Do Carmo et al. 2013, Gutiérrez et al. 2013, Soca et al. 2013a, Casal et al. 2014, Laporta et al. 2014a, 2014b, Claramunt et al. 2017). Resultados de la investigación nacional han demostrado que un aumento de la OF de campo natural incrementó la acumulación de masa forrajera, sin afectar la carga animal (Do Carmo et al., 2013). Sin embargo, la producción por hectárea aumentó en alta OF con respecto a la baja OF en ambos experimentos debido a que se mejoró la producción por animal, tanto por mayores índices reproductivos como aumentos en ganancia de peso.

En trabajos anteriores se analizaron los requerimientos de energía para mantenimiento, gestación o lactación y cambios en reservas corporales, tomando como referencia las estimaciones de consumo de forraje y energía a los sistemas de alimentación CSIRO (1990), NRC (2000) se reportó un menor consumo de los animales en ambas ofertas de forraje respecto a los requerimientos potenciales de energía y materia seca. Las AOF dieron un promedio entre 65 y 84% y las vacas en BOF entre 57 y 74%.

Con respecto a la actividad de pastoreo, fue mayor el tiempo destinado en la BOF que en la AOF durante la primavera y el otoño (Wales et al. 1999, Scarlato et al. 2012, Da Trindade et al. 2016). Además, el tiempo de rumia fue mayor en AOF, donde se vio incrementada la energía consumida por las vacas, mejorando su CC y PV, lo cual generó impactos positivos; se alcanzó la CC objetivo en otoño y primavera, viéndose maximizada la eficiencia reproductiva (Do Carmo et al. 2013, Soca et al. 2013b, Claramunt et al. 2017).

2.2.3. Efecto del genotipo sobre la eficiencia productiva del animal

El manejo de la OF puede combinarse con otras medidas y técnicas como puede ser el cruzamiento para modificar el consumo y la partición de energía a favor de la producción y/o reproducción, resultando en una mayor eficiencia productiva de los sistemas de cría pastoriles (Soca et al. 2013b, 2013c, Do Carmo et al. 2016). Los informes nacionales e internacionales han demostrado que la cruce recíproca entre Hereford y Aberdeen Angus aumenta el porcentaje de partos, destete y los kg de terneros destetados por vaca en comparación con las vacas de raza pura (PU), debido a que las variables reproductivas, de baja heredabilidad se potencian por efectos genéticos no aditivos. La expresión fenotípica de estos efectos es conocida como heterosis y

complementariedad, observadas cuando se practican cruzamientos entre razas diferentes (Cundiff 1974, 2004, Morris et al. 1987).

Resultados nacionales indicaron que la productividad alcanzada por las vacas cruza aún en baja OF fue similar a la lograda en vacas puras en alta OF (175 kg de ternero destetado/vaca entorada por año en baja cruza vs. 182 kg en alta pura), sugiriendo una mayor plasticidad ante las variaciones ambientales, mostrando las vacas F1 una mayor adaptabilidad, probablemente por consecuencia de los efectos genéticos no aditivos, los que se manifiestan especialmente en caracteres de sobrevivencia y reproducción (Espasandín et al., 2013).

Los costos de mantenimiento varían entre diferentes genotipos, lo cual se puede deber al frame de las razas y también al tamaño del tracto gastrointestinal, hígado y corazón como además a la cantidad de grasa visceral (Solís, 1988). Varios trabajos coinciden en que el peso de los órganos difiere entre genotipos, estados fisiológicos y planos nutricionales, y que esto puede provocar variaciones en los costos de mantenimiento de los animales (Baldwin 1974, Jenkins et al. 1986, Solís 1988, Smith 1988, Smith y Baldwin 1995). Casal et al. (2017) reportan que las vacas F1 de la cruza He x AA tienen un menor costo de mantenimiento que las vacas puras de estas mismas razas, dado fundamentalmente por el peso relativo de la masa total de órganos respecto a la canal, el cual fue un 9.5% menor en las F1. Además afirman que las vacas cruza presentaron mayor movilización de grasa y proteína en periodo de balance energético negativo que las vacas puras.

Por lo tanto el aumento en kilogramos de carne por hectárea sin cambios importantes en la ingesta de forraje, se asoció a una alta OF y a la utilización de vacas F1, representando una mejora importante en la eficiencia biológica de los animales en pastoreo (Do Carmo et al., 2016).

2.3. MÉTODO DEL PULSO DE OXÍGENO PARA DETERMINACIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO

Este método mide la producción de calor y energía retenida por el animal basado en calorimetría indirecta, lo cual implica medir el calor que producen los organismos vivos mediante su consumo de oxígeno, producción de dióxido de carbono y de los residuos de nitrógeno. Brosh et al. (2006a) basaron el fundamento de la técnica en la relación estequiométrica entre el consumo de oxígeno (VO_2) y producción de calor, y en el hecho de que prácticamente la totalidad del oxígeno consumido pasa desde los pulmones al cuerpo a través del corazón.

La práctica consiste en la medición de frecuencia cardíaca (HR) durante varios días (4-5 d), obteniendo así un promedio representativo de la HR diaria mínimamente

sesgado (Brosh, 2007) ya que en animales en pastoreo ésta depende de diversos factores (Brosh et al. 2003, 2006b). La HR luego se relaciona con el pulso de O₂ (O₂P, consumo de O₂ por latido cardíaco), el cual se determina a través de la medición simultánea de frecuencia cardíaca y volumen de O₂ (VO₂) consumido durante un período corto de tiempo (10 a 15 min). Una vez calculado el consumo total de O₂ se multiplica por el valor constante de 20.47 kJ/L de O₂, el cual representa la energía disipada por litro de O₂ de acuerdo a lo reportado por Nicol y Young (1990).

El método pulso O₂ es medido en un espacio y tiempo relativamente estrecho el cual se supone que representa el consumo de oxígeno por latido cardíaco de animales en pastoreo a lo largo de todo el día, para lo cual es fundamental que el animal no esté estresado al momento de la medición. Cuando los animales están estresados, su frecuencia cardíaca se incrementa en una proporción mayor a su consumo de oxígeno, por lo tanto el valor de su pulso de O₂ y consecuentemente, su gasto energético serán sub estimados (Brosh, 2007).

Según estudios realizados por Brosh et al. (2002) el método del pulso de O₂ es una herramienta adecuada para medir el gasto energético con adecuada precisión debido a que se confirmó que la relación entre CEM/(Producción total de calor (HP) + ER) no difiere significativamente de 1, y en base a su desvío estándar el resultado es poco sesgado. Es así, que es posible estimar la ER calculando la diferencia entre el consumo total de energía metabolizable y el gasto energético bajo condiciones de libre pastoreo: $CEM = ER + HP$. A su vez, el método pulso O₂ tiene la capacidad de estimar el gasto energético para cortos períodos de tiempo, por lo que es adecuado para evaluar el efecto de actividades puntuales del animal como lo son la caminata, pastoreo, consumo y comportamiento social.

El gasto energético puede ser afectado por múltiples factores como las condiciones ambientales, el nivel de consumo, el tiempo destinado al consumo y digestión, los tejidos, la conductancia del pelaje, el nivel de producción y la época del año según el NRC (1981).

Otros factores que pueden influir en la medición del pulso O₂ son el estado fisiológico, productivo y reproductivo del animal, y aumentos de la concentración de energía metabolizable en las dietas, como consecuencia de un aumento del consumo de EM y el gasto energético (Brosh et al. 1998, 2002), esto no ocurriría en caso que el animal haya alcanzado su límite superior de producción o gasto energético (Ketelaars y Tolkamp, 1996).

2.4. HIPÓTESIS

- a) El gasto energético de mantenimiento es menor en vacas pastoreando alta oferta de forraje.
- b) Las vacas F1 (Hereford x Aberdeen Angus) presentan mayor eficiencia en la utilización de la energía.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL

El trabajo se realizó entre mayo y agosto del 2019 en un experimento de pastoreo de campo natural de largo plazo instalado en la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt (EEBR) de la Facultad de Agronomía, ubicada en el km 408 de la Ruta 26 (Departamento de Cerro Largo, Uruguay; 32°35' Latitud S. 54°15' Longitud E) desde el año 2007.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL ANIMALES Y TRATAMIENTOS

Se utilizaron un total de 40 vacas multíparas preñadas Hereford (He), Aberdeen Angus (AA) y F1 (AAxHe y HexAA) en un diseño de bloques al azar con dos tratamientos (alta y baja oferta; AOF y BOF) y dos repeticiones en cada bloque (Cuadro 1). Los bloques se diferencian por el tipo de suelo; el bloque I se encuentra sobre suelos arenosos de la unidad Zapallar y el bloque II en suelos pesados de la unidad Fraile Muerto.

Cuadro 1. Número de hectáreas de cada parcela por bloque

Parcela	Bloque I	Bloque II
Alta 1	19	12.7
Alta 2	19	13.9
Baja 1	9	11
Baja 2	11.7	9.7

La oferta de forraje, variable a lo largo del año, es 8 y 5 kgMS/ kgPV en promedio para AOF y BOF, respectivamente (Cuadro 2). La oferta se estima como la relación entre la masa de forraje y la carga animal (Sollenberger et al., 2005) y se ajusta mensualmente (Mott, 1960) después de medir el forraje disponible (Haydock y Shaw, 1975). Las vacas experimentales se mantuvieron en la misma parcela durante todo el experimento y se utilizaron vacas volantes para el ajuste de la carga. En otoño (primera medición), las vacas se encontraban recientemente destetadas, transitando su segundo tercio de gestación y en invierno (segunda medición), las vacas se encontraban en su tercer tercio de gestación.

Cuadro 2. Oferta de forraje (OF), disponibilidad de forraje y altura a lo largo del período experimental

	Estación del año (EA)		ES	Valor P		
	Otoño	Invierno		EA	OF	EA x OF
Oferta de forraje (kgMS/kg PV)				0.34	0.34	0.05
Alta	5 ^a	3.5 ^b	0.78			
Baja	3.5 ^b	3.5 ^b	0.78			
Masa de forraje (kgMS/ha)				0.05	<0.01	0.27
Alta	2716 ^a	2209 ^a	231			
Baja	1069 ^b	970 ^b	231			
Altura del forraje (cm)				<0.01	<0.01	0.24
Alta	7.1 ^a	4.1 ^b	0.85			
Baja	3.9 ^b	2.7 ^b	0.85			

3.3. DETERMINACIONES

Desde el destete hasta el parto mensualmente se determinó el PV mediante balanza electrónica y se registró la CC mediante escala visual (1 a 8; Vizcarra et al., 1986). A los 161 ± 18 días de gestación (otoño; 21 al 30 de mayo 2019) y a los 231 ± 18 días de gestación (fin del invierno; 8 al 19 de agosto 2019) se determinó la producción total de calor mediante la técnica del pulso de O₂ (Brosh et al., 1998) que consiste en la estimación del consumo de O₂ del animal mediante el registro de la frecuencia cardíaca (HR) y el consumo de O₂ por latido cardíaco (O₂P, Figura 5).

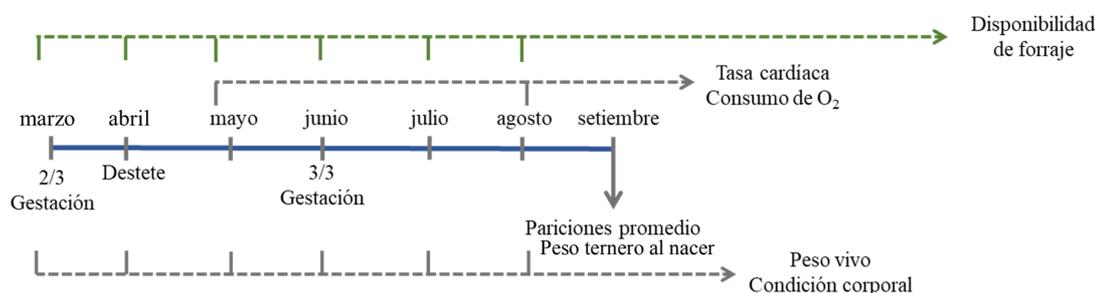


Figura 5. Protocolo experimental

En cada período se midió durante 4 días por animal la HR cada 5 segundos mediante el uso de monitores cardíacos (Polar RCX3; Electro Oy, Kempele, Finlandia)

con un transmisor de frecuencia cardíaca T51H (Polar Electro Oy). Los dispositivos fueron colocados en el tórax, detrás de la articulación escapulo-humeral, por medio de un cinturón elástico diseñado específicamente para esto. El O_2P (mL O_2 /latido por kg $PV^{0.75}$) se midió un día previo o posterior al período de medición de HR en cada período. Para ello, se registró simultáneamente la HR y el consumo de O_2 individual cada 5 segundos por un intervalo de 10 a 15 min. El consumo de O_2 se determinó mediante un circuito respiratorio abierto, usando una máscara facial de acuerdo con Fedak et al. (1981), en condiciones que no generaran estrés o que perturbaran el comportamiento natural de los animales, asegurando que la HR se encuentre en el rango de valores normales a lo largo del día. La calibración del sistema se comprobó gravimétricamente mediante la inyección de N_2 en la máscara que promedió $97.32 \% \pm 2.6 \%$ para los dos períodos de medición. La producción total de calor (HP) a lo largo del día se cuantificó a partir de los datos individuales de HR (latidos/min) y O_2P (mL/latido por kg $PV^{0.75}$), asumiendo la constante (Nicol y Young, 1990) de 20.47 kJ/L O_2 consumido de acuerdo con las siguientes ecuaciones (Brosh, 2007):

$$HP \text{ diario (MJ/d)} = (HP \text{ específico} \times kgPV^{0.75})/1000; \text{ donde}$$

$$HP \text{ específico (kJ/PV}^{0.75} \text{ por día)} = HR \times O_2P \times (20.47/1000) \times 60 \times 24$$

3.4 CÁLCULOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para las estimaciones del balance energético, se usaron los datos colectados el 29/04/2019 y 31/05/2019 para el primer periodo de medición de HP y del 30/07/2019 y 29/08/2019 para el segundo. El PV de la vaca se corrigió por el peso del útero grávido (útero + ternero) de acuerdo a la siguiente ecuación (Ferrell et al., 1976):

$$\text{Útero grávido peso fresco} = (743.9 \times (e^{((0.02-0.0000143 \times \text{días gestación (DG)) \times DG}))}) / 1000)$$

$$\text{Útero grávido peso fresco}_{\text{corregido}} = \text{Útero grávido peso fresco} \times (PCN/45)$$

$$PV_{\text{corregido}} = PV - \text{Útero grávido peso fresco}_{\text{corregido}}$$

La energía requerida para gestación (feto + útero grávido; $ER_{\text{gestación}}$) se estimó a partir de la siguiente ecuación que incluye los datos de peso al nacer de los terneros (PCN), días de gestación (DG, NRC, 2001):

$$ER_{\text{gestación}} \text{ (Mcal/d)} = (((0.00318 \times DG - 0.0352) \times (PCN / 45)) / 0.218)$$

La ER a nivel corporal (ER_{tejido}) se estimó a partir de los cambios en PV y CC (Fox et al. 1999, NRC 2001) de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Peso corporal vacío (kg; PCV)} = 0.817 \times PV \text{ (kg)}$$

Porcentaje de grasa corporal (%GR) = $0.037683 \times CC$ (1 al 9)

Porcentaje de proteína (%PR) = $0.200886 - 0.0066762 \times CC$ (1 al 9)

$ER_{tejido} = PCV \times \%GR/100 \times 9.4 + PCV \times \%PR/100 \times 5.55$

La ER total fue calculada como la suma de la $ER_{gestación}$ y ER_{tejido} . Sin embargo la ER_{tejido} no difirió de cero, por lo que para el cálculo de la ER total se consideró únicamente la $ER_{gestación}$. El consumo de EM se estimó como la suma de HP total y ER total y la eficiencia energética a nivel individual como la ER total dividida el consumo de EM.

Se estimó el HP residual como la diferencia entre el HP observado y HP predicho, este último fue calculado a partir del $PV^{0.75}$ y la ER total, utilizando la constante de mantenimiento ($322 \text{ kJ/kg PV}^{0.75}$) y el km (0.62, NRC, 2000).

Los datos se analizaron estadísticamente usando el programa SAS Systems (SAS Institute 9.0V). El procedimiento UNIVARIATE se utilizó para identificar los outliers y verificar la normalidad de los residuales. Las variables de balance de energía se analizaron mediante el procedimiento MIXED usando un modelo mixto con medidas repetidas en el tiempo. El modelo incluyó OF (alta y baja), genotipo de la vaca (GG; pura vs. cruza; PU vs. F1), período de medición (PER) y sus interacciones como efectos fijos, bloque y vaca como efectos aleatorios y la fecha al parto se incluyó como covariable si $P > 0.20$. El peso del ternero al nacer fue analizado con un modelo similar, pero sin medidas repetidas. Para todas las variables, la comparación entre las medias se realizó mediante el test de Tukey ($\alpha=0.05$). Los resultados se presentaron como medias corregidas \pm error estándar.

4. RESULTADOS

El PV y CC de las vacas no fue diferente entre los períodos evaluados (mayo vs. agosto; 161 vs. 231 días de gestación), pero si se observó que la CC incrementó durante el primer período de medición y disminuyó durante el último (mayo vs. agosto; +0.2 vs. -0.3 puntos de CC). Sin embargo, si bien el PV fue similar entre OF y GG, la CC tendió a ser afectada ($P=0.07$) por la interacción entre la OF y GG ya que fue mayor en vacas AOF-F1 que en los restantes grupos. A su vez, la variación de la CC fue mayor ($P< 0.05$) durante el invierno, tendiendo ($P=0.07$) a ser superior en las vacas de AOF (Cuadro 3). El peso del ternero al nacer no presentó diferencias entre OF ni GG (Cuadro 3).

El consumo de EM no fue afectado por OF, PER ni GG. Sin embargo la ER total (gestación) aumentó ($P< 0.01$) en el invierno (Cuadro 3, Figura 6), y si bien no difirió entre OF ni GG tendió ($P= 0.07$) a ser afectada por la interacción entre OF y GG ya que tendió a ser menor en vacas BOF-F1.

El O_2P (mL/latidos/kgPV^{0.75}) fue afectado por la interacción entre la OF y PER ($P<0.05$), ya que las vacas pastoreando BOF durante el invierno presentaron el menor O_2P (Cuadro 4). Sin embargo, la HR fue mayor ($P< 0.05$) en vacas F1 que PU y tendió a ser mayor ($P= 0.08$) en vacas pastoreando BOF que AOF. La interacción entre la OF y GG tendió a ($P= 0.08$) afectar la HR ya que las vacas AOF-PU presentaron la menor HR (Cuadro 4). Estos cambios determinaron que si bien la HP total no fue afectada por la OF, el GG ni el PER, la interacción entre GG y PER tuvo efecto ($P= 0.05$) ya que la HP disminuyó en vacas PU pero no en vacas F1 durante el invierno (Cuadro 3, Figura 7).

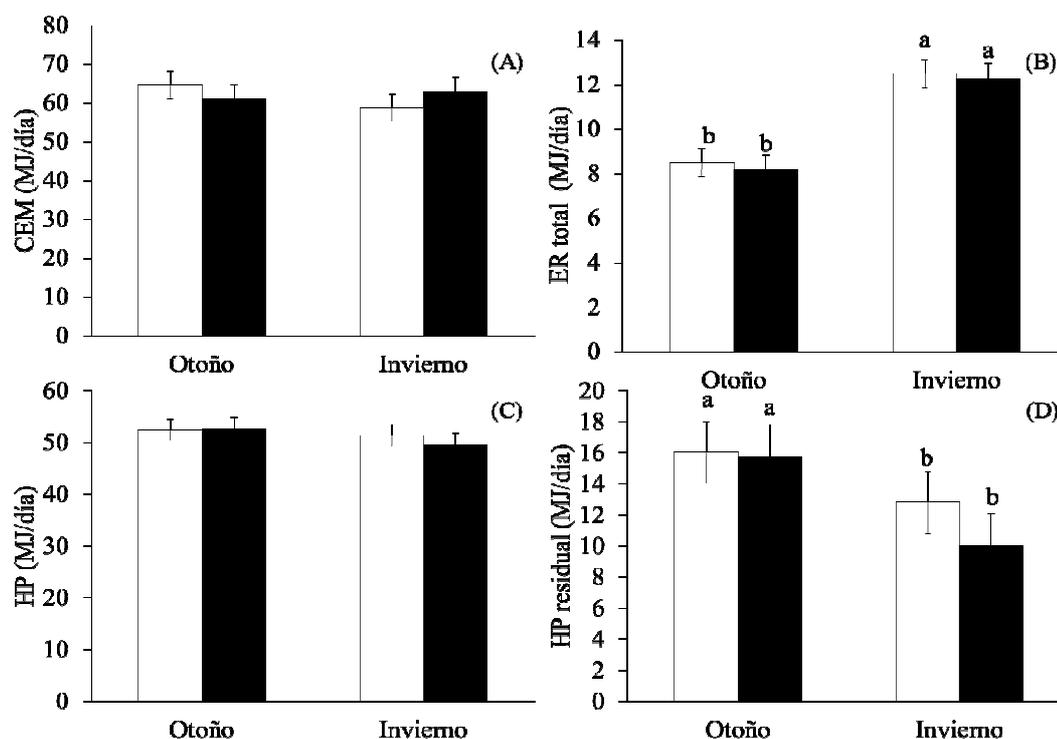
La HP aumentó durante las horas de luz, y disminuyó durante la noche, alcanzando los mínimos valores entre las 5 y las 6 am (otoño vs. invierno; 472 vs. 455 kJ/kgPV^{0.75}/día) y los máximos entre las 5 y las 6 pm (otoño vs. invierno 593 vs. 559 kJ/kgPV^{0.75}/día). La HP a lo largo del día fue afectada ($P<0.05$) por la interacción entre PER y GG ya que la HP fue menor en las vacas PU en el invierno (Figura 8).

La HP residual fue positiva en todos los casos y menor ($P< 0.05$) en el invierno que en otoño, siendo esta disminución explicada por las vacas PU, ya que fue afectada por la interacción entre PER y GG ($P< 0.05$, Cuadro 3, Figura 7).

Las diferencias en ER total, HP total y residual se mantuvieron cuando la partición de la energía se expresó por unidad de peso metabólico (Cuadro 4).

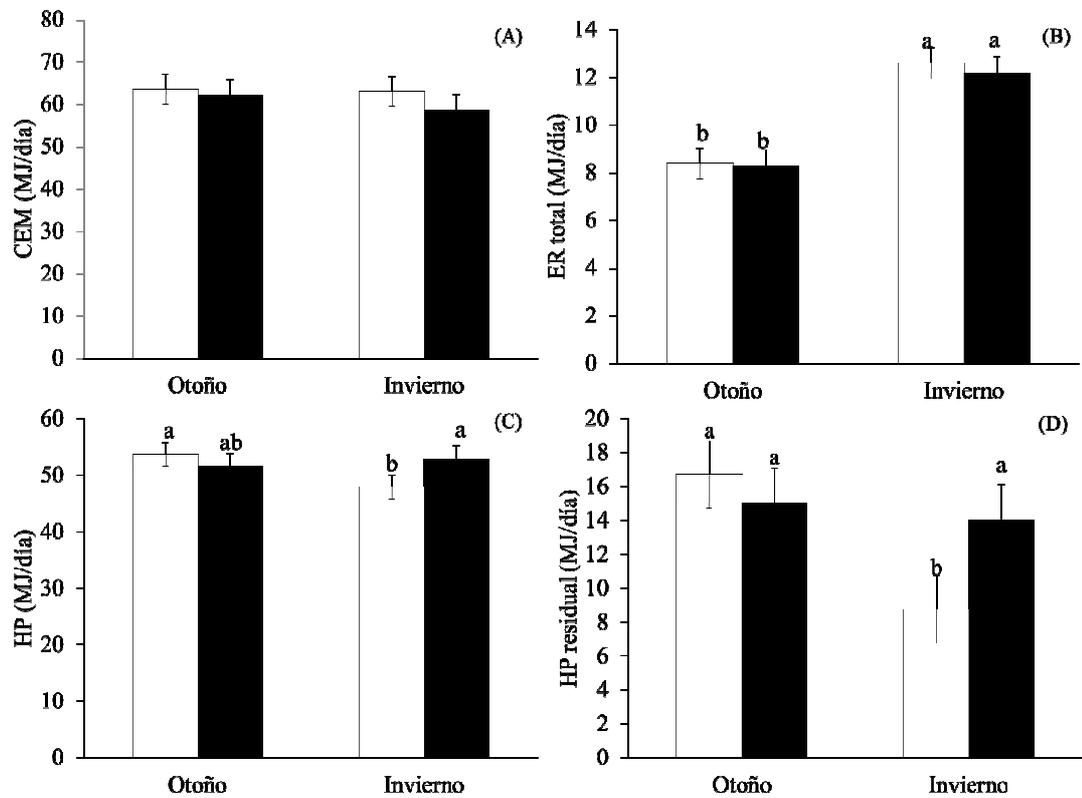
La eficiencia de utilización de la EM consumida corregida por unidad de PV^{0.75} (ER total /CEM) fue mayor ($P< 0.05$) en el invierno (mayo vs. agosto; 0.14 vs. 0.21 kJ/PV^{0.75}/día), y tendió a ser afectada por la interacción entre OF y GG ($P=0.09$, Cuadro

4). Se observó que las vacas PU fueron más eficientes que las F1 en BOF (F1 vs. PU; 0.15 vs. 0.19 kJ/PV^{0.75}/día).



Alta oferta (barras blancas) y baja oferta (barras negras) de forraje (8 y 5 kgMS/ kgPV promedio anual respectivamente); otoño (161 días de gestación) e invierno (231 días de gestación)
 Consumo de energía metabolizable (CEM; A), Energía retenida total (ER total; B), Producción total de calor (HP; C), Producción total de calor residual (HP residual; D)
 Letras indican diferencias en las medias (P < 0.05)

Figura 6. Partición de la energía de vacas de cría pastoreando diferentes ofertas de forraje durante la gestación

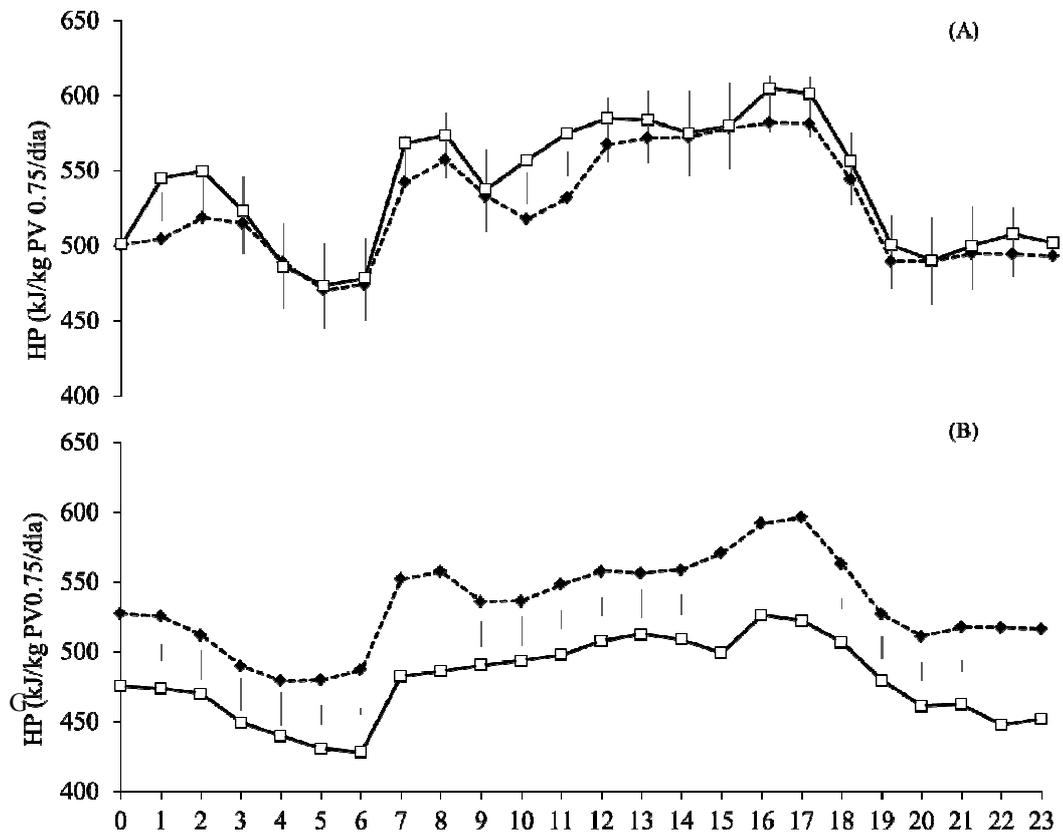


Vacas puras (barras blancas) y vacas cruza (barras negras); otoño (161 días de gestación) e invierno (231 días de gestación)

Consumo de energía metabolizable (CEM ;A), Energía retenida total (ER total; B), Producción total de calor (HP; C), Producción total de calor residual (HP; D)

Letras indican diferencias en las medias (P < 0.05)

Figura 7. Partición de la energía de vacas de cría de diferente grupo genético durante la gestación



Vacas puras (línea continua con cuadrados blancos), vacas cruza (línea punteada con rombos negros)
otoño (mayo; A) e invierno (agosto; B)

Figura 8. Producción total de calor por unidad de peso metabólico a lo largo del día

Cuadro 3. Partición de la energía de vacas gestantes puras (PU; Hereford y Aberdeen Angus) y sus cruzas (F1) durante otoño-invierno pastoreando alta (AOF) y baja oferta (BOF) en campo natural (8 y 5 kgMS/ kgPV promedio anual, respectivamente)

Variable	AOF		BOF			P-valor*					
	F1	PU	F1	PU	SE	OF	GG	OFxGG	PER	GGxPER	OFxPER
Peso vivo (kg)	470	471	462	468	35	0.79	0.36	0.40	0.79	0.66	0.71
Variación peso vivo (kg)	-5.1	-7.9	0.03	3.4	4.7	0.09	0.96	0.51	0.93	0.25	0.12
Condición corporal	4.7	4.2	4.3	4.4	0.4	0.48	0.23	0.07	0.23	0.86	0.27
Variación condición corporal	0.01	0.09	-0,1	-0,2	0.1	0.07	0.98	0.41	<0.01	0.76	0.54
Peso ternero al nacer (kg)	38	37	35	37	1	0.19	0.34	0.79	-	-	-
Partición de la energía (MJ/día)											
Consumo EM	62.5	60.9	62.9	61.5	3.8	0.91	0.70	0.98	0.56	0.43	0.27
Energía retenida total	11	10	9.5	10.9	0.7	0.70	0.74	0.07	<0.01	0.45	0.78
Producción total de calor	52.7	51.0	51.9	50.4	2.6	0.78	0.55	0.97	0.21	0.05	0.52
Producción de calor residual	14.5	14.4	14.7	11.1	2.2	0.50	0.42	0.45	0.02	0.05	0.49

OF= Oferta de forraje; GG= Genotipo de la vaca; PER= Período de medición (mayo vs. agosto; 161 vs. 231 días de gestación).

*La interacción OFxGGxPER no fue significativa (P>0.26).

Cuadro 4. Partición de la energía por unidad de peso metabólico en vacas gestantes puras (PU; Hereford y Aberdeen Angus) y sus cruzas (F1) durante otoño-invierno pastoreando alta (AOF) y baja oferta (BOF) en campo natural (8 y 5 kgMS/ kgPV promedio anual, respectivamente)

Variable	AOF		BOF		SE	P-valor*					
	F1	PU	F1	PU		OF	GG	OFxGG	PER	GGxPER	OFxPER
Frecuencia cardíaca (latidos/min)	64.7	57.9	64.7	63.6	1.6	0.08	0.02	0.08	0.39	0.82	0.25
Pulso O ₂ (mL/latidos/ kg PV ^{0.75})	0.24	0.30	0.27	0.27	0.01	0.09	0.49	0.80	0.09	0.97	0.02
Partición de la energía (kJ/PV^{0.75}/día)											
Consumo EM	632	623	646	614	38	0.95	0.59	0.77	0.70	0.52	0.33
Energía retenida total	112	101	97	109	8.9	0.59	0.86	0.07	<0.01	0.27	0.49
Producción total de calor	531	523	532	503	24	0.70	0.44	0.67	0.38	0.09	0.32
Producción de calor residual	143	145	152	110	23	0.57	0.37	0.35	0.02	0.05	0.50
Eficiencia (ER total/ consumo EM)	0.18	0.17	0.15	0.19	0.01	0.87	0.18	0.09	<0.01	0.28	0.72

OF= Oferta de forraje; GG= Genotipo de la vaca; PER= Período de medición (mayo vs. agosto; 161 vs. 231 días de gestación).

*La interacción OFxGGxPER no fue significativa (P> 0.33).

5. DISCUSIÓN

El campo natural, base de los sistemas criadores del Uruguay, presenta baja disponibilidad de forraje durante el invierno, asociado a una baja tasa de crecimiento por bajas temperaturas (Berretta, 1988). Esto limita el consumo de EM de la vaca de cría y provoca que las vacas movilicen reservas para lograr cubrir los requerimientos energéticos, reflejándose en una disminución de PV y CC (Soca et al. 2013a, Laporta et al. 2014). En el presente trabajo se observó, en promedio, que las vacas en mayo (otoño) aumentaron 0.2 unidades de CC y en agosto (invierno) disminuyeron 0.3 unidades de CC, valores que están dentro de la desviación estándar de la variable (0.4 unidades) y de la apreciación de la escala de la CC (0.25 unidades).

Sin embargo, si se hubiese mantenido la ganancia y la pérdida durante los tres meses de ambas estaciones, en el otoño las vacas ganarían 0.6 unidades de CC y durante el invierno perderían 0.9 unidades de CC, indicando que sería necesario la movilización de reservas para cubrir los gastos de mantenimiento y gestación en invierno. Soca et al. (2007) reportaron que, el manejo de ofertas variables durante el año hace posible el diferimiento de forraje entre estaciones, logrando un incremento de la CC durante el otoño, lo que le permite a la vaca perder una unidad de CC durante el invierno, cuando la oferta de forraje no es suficiente para cubrir los costos de mantenimiento, y llegar igualmente con buena CC al parto (> 4.0 unidades).

En acuerdo con la CC, la ER_{tejido} no difirió de cero en ninguno de los períodos evaluados (mayo y agosto), por lo cual en el cálculo de la ER total se consideró únicamente la $ER_{gestación}$. Es así que, el aumento de la ER total en invierno (50% mayores) refleja los mayores requerimientos del útero grávido y crecimiento fetal que se incrementa exponencialmente en el último tercio de gestación (Greenwood y Cofe, 2007).

El consumo de EM promedió $629 \text{ kJ/kgPV}^{0.75}$ por día, 35% superior a lo reportado ($464 \text{ kJ/kgPV}^{0.75}$ por día) por Do Carmo et al. (2018). Probablemente esta diferencia se explique por las mayores OF manejadas en el presente trabajo (6- 4 vs. 4- 3 kgMS/ kgPV para otoño-invierno respectivamente), lo cual generó un incremento en promedio de 65% en la disponibilidad de biomasa (AOF vs. BOF; 2463 vs. 1020 kgMS/ha) en comparación con trabajos anteriores (AOF vs. BOF; 1225 vs. 794 kgMS/ha, Do Carmo et al., 2018). Asimismo, el consumo de EM fue mayor que el observado por Gómez² ($572 \text{ kJ/kgPV}^{0.75}$ por día) quien trabajó con OF similares a las del presente trabajo. Diferencias entre los genotipos y categoría de las vacas, así como entre años pueden explicar esta discrepancia entre trabajos.

² Gómez, J. s.f. Estimación del gasto energético en vacas de cría con diferentes asignaciones de forraje. (sin publicar)

En el presente trabajo, el consumo de EM habría sido suficiente para cubrir los gastos de mantenimiento y gestación, en acuerdo con el mantenimiento de las reservas corporales en los períodos evaluados. De hecho, reportes previos indican que el consumo de EM por unidad de $PV^{0.75}$ para mantenimiento de vacas de carne durante la gestación es de $376 \text{ kJ/kgPV}^{0.75}$ por día (Houghton et al. 1990, Freetly et al. 2000) y Brosh et al. (1998) reportan consumos de $468 \text{ kJ/kgPV}^{0.75}$ por día para vacas de carne preñadas en condiciones de pastoreo. Asimismo, cabe destacar que a pesar de la disminución en la tasa de crecimiento de las especies de campo natural en invierno (fundamentalmente C4), la disponibilidad de forraje invernal permitió, que las vacas, tanto de AOF como de BOF, mantengan el consumo de EM en relación con sus mayores requerimientos producto de la gestación avanzada.

La HP total es dependiente de la HR y el O_2P (Brosh et al., 1998). Si bien, en el presente trabajo se registró en promedio un valor de O_2P de $0.280 \text{ mL/latido/kgPV}^{0.75}$, similar al reportado previamente por Brosh (2007) para vacas de carne gestantes en pastoreo ($0.290 \text{ mL/latido/kgPV}^{0.75}$), la HR promedio (62.7 latidos/min) fue menor a la registrada por estos autores (76.2 latidos/min). Valores en el rango de los reportados en el presente trabajo fueron observados por Gómez² en vacas de cría gestantes pastoreado campo natural.

Menores HR estarían asociadas a una mayor disponibilidad y calidad del forraje (Brosh et al., 2006b). Sin embargo, la HP total estuvo en el rango de los valores promedio indicados por Brosh (2007), Gómez² para vacas de carne preñadas en condiciones de pastoreo ($522 - 524 \text{ kJ/PV}^{0.75}$ por día).

La producción de calor varió a lo largo del día, incrementándose en las horas diurnas, tanto para otoño como invierno, reflejando el pastoreo diurno y el descanso nocturno (Brosh et al., 2006b). A su vez, la HP total, presentó dos picos, temprano en la mañana y en las últimas horas de la tarde que se asociarían con las dos principales sesiones de pastoreo que presentan las vacas, coincidiendo con lo reportado por Gibbs (2006) que los animales generalmente presentan una periodicidad en el pastoreo de 8 horas, para lograr mantener las condiciones óptimas dentro del rumen.

Las OF manejadas en el presente experimento no afectaron el balance de energía de las vacas en el período de medición. La mayor disponibilidad de biomasa forrajera en AOF no se tradujo en un mayor consumo de EM de las vacas, en una mayor ER total ni en una mayor HP total. La acumulación de material senescente en otoño, la cual fue de 50% para el año del presente trabajo³ debido a la predominancia de especies estivales del campo natural que se encuentran en estado reproductivo, podría haber disminuido la calidad de la pastura y la capacidad de selección de las vacas, determinando que en AOF se coseche una dieta de menor calidad con mayor contenido de fibra, y menor concentración energética que en BOF, limitando el consumo de EM.

³ Do Carmo, M. 2019. Com. personal.

En contraste, el genotipo de las vacas afectó el balance de energía durante la gestación. Durante el invierno, a pesar de que no hubo diferencias en el consumo de EM entre genotipos, la HP total fue 10% mayor para las vacas F1 que las PU. La HP total es la suma de las HP para mantenimiento (HPm) y HP para producción (HPp, Aharoni et al. 2005, 2006). En la medida que la ER total no difirió entre genotipos, es probable esperar que la HPp no difiera entre vacas F1 y PU, indicando una mayor HPm en las primeras. La HP residual indicaría que en promedio los requerimientos de energía de mantenimiento para vacas de cría gestantes pastoreando campo natural estarían incrementados en un 26% con respecto a los estimados por el NRC (2000), representando este aumento un 27% del consumo de EM. Asimismo, en acuerdo con el mayor HPm en vacas F1, la HP residual fue 61% mayor para vacas F1 que PU durante el invierno, sugiriendo que en este período las vacas F1 habrían incrementado su requerimiento de mantenimiento. Estos resultados se contraponen a lo presentado en trabajos anteriores (Casal et al. 2014, 2016, 2017) que sugirieron un menor costo de mantenimiento por unidad de $PV^{0.75}$ en las vacas F1 respecto a las vacas PU, dado a un menor peso relativo de la masa total de los órganos respecto a la canal y una mayor movilización de músculo durante el invierno.

En los sistemas de alimentación (NRC, CSIRO) los requerimientos de mantenimiento se estiman como constante de $PV^{0.75}$, sin embargo, varios trabajos han reportado que varían en función de la masa y composición corporal (Ferrell y Jenkins, 1985), del tamaño de vísceras del tracto gastrointestinal y otros órganos (Baldwin et al., 2004) y de la actividad metabólica de los mismos (Herd y Arthur, 2009). En particular, en animales en pastoreo, el consumo de fibra debido a los procesos de masticación, fermentación, digestión y absorción de los nutrientes (Nkrumah et al. 2006, Reynolds et al. 2011), el desbalance en la relación proteína: energía en las pasturas que aumente los costos de metabolismo excreción de nitrógeno (Bruinenberg et al., 2002) y la actividad y conducta de pastoreo (Di Marco y Aello 2001, Brosh et al. 2006b) han sido relacionados con incrementos en el costo energético de mantenimiento.

En el presente trabajo, no sería esperable que el consumo de fibra o el desbalance en la relación proteína: energía de las pasturas tuvieran un efecto mayor en la diferencia en HPm entre genotipos ya que las vacas F1 y PU pastoreaban un potrero de campo natural con una misma disponibilidad y calidad forrajera, no esperándose diferencias a favor de las PU en selectividad (Olmos et al., 2005). Sin embargo al no existir diferencias en el PV ni CC y tampoco en la variación de los mismos durante el invierno, podría esperarse que la mayor HPm se asociara a mayor contenido de proteína corporal de las vacas F1 (Agnew y Yan, 2000) de acuerdo a lo reportado previamente (Casal et al. 2016, 2017) así como un mayor peso de los órganos del sistema digestivo, respiratorio y circulatorio debido al mayor potencial de producción de leche (Ferrell y Jenkins 1985, Casal et al. 2014, 2017).

Estos mayores costos de mantenimiento de las vacas F1 durante el invierno se contraponen a lo reportado por Espasandin et al. (2013), Soca et al. (2013a) quienes

afirman que en escenarios restrictivos las vacas PU son las que se ven más afectadas, y que durante el invierno las F1 presentan un 15% de superioridad en la utilización de la energía sobre las vacas PU, resultados que estarían explicados por la mayor plasticidad de estas para adaptar su organismo a los ambientes restrictivos (Casal et al., 2014). Probablemente, esto se deba a la OF manejada en el presente trabajo la cual no fue tan restrictiva (AOF vs. BOF; 8 vs. 5 kgMS/kgPV promedio anual) siendo la BOF similar a la AOF de trabajos previos, restringiendo la expresión del vigor híbrido de las vacas F1. En acuerdo con los mayores costos de mantenimiento, en el presente trabajo las vacas PU en BOF presentaron una mayor eficiencia en el uso de la energía, explicada por una diferencia numérica no significativa en el CEM y en la ER total a favor de las PU. Las bajas eficiencias energéticas reportadas en el presente trabajo, reflejan el estado fisiológico de las vacas (gestación) y concuerdan con lo indicado previamente para los sistemas de producción de carne (Dickerson, 1978).

6. CONCLUSIONES

El manejo de la intensidad de pastoreo del campo natural, a través de la OF, no afectó el balance y partición de la energía de vacas de cría gestantes durante otoño-invierno, cuando tanto AOF como BOF manejaron intensidades de OF mayores o iguales a 5 kgMS/ kgPV en promedio anual. Sin embargo, la partición de la energía fue afectada por el genotipo de la vaca de cría, siendo mayores los requerimientos energéticos de mantenimiento de las vacas F1 que PU durante el invierno (agosto) probablemente asociados a un mayor contenido proteico corporal y peso de órganos y tejidos.

7. RESUMEN

El campo natural es la base forrajera de los sistemas de cría a nivel nacional, el cual presenta una marcada producción estacional, condicionando esto el balance energético y por lo tanto, las respuestas productivas y reproductivas del rodeo a lo largo del año. El objetivo del presente trabajo fue estimar y comparar durante la gestación el balance y partición de la energía de vacas puras (PU) Hereford y Aberdeen Angus y sus cruza (F1), pastoreando dos diferentes ofertas de forraje (OF). Se utilizaron un total de 40 vacas multíparas preñadas PU y F1 en un diseño de bloques al azar con dos tratamientos de OF (altas y baja oferta; AOF y BOF; 8 vs. 5 kgMS/kg peso vivo (PV) en promedio anual) y dos repeticiones en cada bloque. En dos momentos (otoño vs. invierno; 161 vs. 231 días de gestación) se midió la producción total de calor (HP total) usando la técnica de tasa cardíaca- pulso de O₂ (HR-O₂P). Se estimó la energía retenida (ER) total a partir de los requerimientos de gestación usando el peso del ternero al nacer y días de gestación ya que las vacas mantuvieron la condición corporal y el PV durante estos períodos. El consumo de EM se estimó como la HP total + ER total y se calculó la HP residual utilizando el $PV^{0.75}$, la ER total, la constante de mantenimiento (322 kJ/kgPV^{0.75}) y el km (0.62) para el cálculo del HP predicho. El consumo de EM durante los períodos evaluados fue suficiente para cubrir los requerimientos de mantenimiento y gestación de las vacas de cría tanto en AOF como en BOF (629 kJ/PV^{0.75}/día promedio). Las OF manejadas en el presente experimento no afectaron el consumo de EM, la ER total, ni la HP total ni residual de las vacas. Sin embargo, si bien el consumo de EM y la ER total no difirió debido al grupo genético, el HP total fue 10% superior y el HP residual 62% mayor en vacas F1 que en las PU, reflejado los mayores requerimientos de mantenimiento en las primeras, sobre todo durante el invierno lo cual estuvo probablemente asociado a un mayor contenido proteico corporal y peso de órganos y tejidos en las vacas F1.

Palabras clave: Balance energético; Oferta de forraje; Vacas puras (Hereford y Aberdeen Angus); Vacas cruza (F1).

8. SUMMARY

In Uruguay cow-calf production systems are based on native grasslands which present a seasonal variability in herbage production, affecting cow energy balance and productive and reproductive responses of the breeding herd throughout the year. The objective of this work was to estimate and compare the energy balance at two different moments of the gestation (autumn vs. winter; 161 vs. 231 days of gestation) for pure (PU) Hereford and Aberdeen Angus and crossbred (F1) cows grazing two different herbage allowances (HA). Forty PU and F1 pregnant multiparous cows were used in a randomized block design with two HA treatments (high and low herbage allowance; HHA and LHA; 8 vs. 5 kg of DM/kg of cattle body weight (BW) of annual average) and two repetitions in each block. In two moments (autumn vs. winter; 161 vs. 231 days of gestation) total heat production (total HP) was measured using the heart rate - O₂ pulse (HR- O₂P) technique. Total retained energy (RE) was estimated from gestation requirements using calf weight at birth and days of gestation as cows maintained body condition score and BW during these periods. The metabolizable energy (ME) intake was estimated as total HP + total RE and residual HP was calculated using $BW^{0.75}$, total ER, the constant for maintenance (322 kJ/ kgBW^{0.75}) and km (0.62) for the calculation of the predicted HP. The ME intake during the periods evaluated was enough to satisfy the maintenance and gestation energy requirements of the breeding cows in both, HHA and LHA (on average 629 kJ/kgBW per day). However, the HA managed in this experiments did not affect cow energy balance, as ME intake, total RE, or total or residual HP did not differ between cows grazing HHA and LHA. In contrast, although ME intake and total RE did not differ due to cow genotype, total HP was 10% greater and residual HP was 62% greater for F1 than PU cows, indicating greater maintenance energy requirements in the former ones mainly during winter. These greater maintenance requirements probably associated with the greater body protein content and organ and tissue weight in F1 than PU cows.

Key words: Energy balance; Herbage allowance; Pure cows (Hereford y Aberdeen Angus); Crossbred cows (F1).

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Aello, M. S. 2014. Índice de conversión alimenticia en la cría vacuna: factores que lo afectan. (en línea). In: Nutrición animal aplicada. Balcarce, INTA. pp. 105-118. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en http://produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/137Curso_Nutricion_aplicada.pdf#page=106
2. AFRC (Agricultural Food and Research Council, UK). 1993. Energy and Protein Requirement of Ruminants: an advisory manual prepared. Wallingford, UK, CABI. 159 p.
3. Agnew, R. E.; Yan, T. 2000. Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livestock Production Science*. 66 (3):197-215.
4. Aharoni, Y.; Brosh, A.; Harari, Y. 2005. Night feeding for high- yielding dairy cows in hot weather: effects on intake, milk yield and energy expenditures. *Livestock Production Science*. 92 (3):207-219.
5. _____; _____; Kafchuk, I. 2006. The efficiency of utilization of metabolizable energy for milk production: a comparison of Holstein with F1 Montbeliarde 3 Holstein cows. *Animal Science*. 82 (1):102-109.
6. Baker, J. F.; Buckley, B. A.; Dickerson, G. E.; Nienaber, J. A. 1991. Body composition and fasting heat production from birth to 14 months of age for three biological types of beef heifers. *Journal of Animal Science*. 69 (11): 4406- 4418.
7. Baldwin, R. L. 1995. Modeling ruminant digestion and metabolism. London, UK, Chapman and Hall. 585 p.
8. _____; McLeod, K. ; Capuco, A. V. 2004. Visceral tissue growth and proliferation during the bovine lactation cycle. *Journal of Dairy Science* 87(9): 2977- 2986.
9. Berretta, E. 1988. Investigación en ecología de pasturas naturales para la producción ganadera. Montevideo, Uruguay, OEA. 34 p.
10. Boggiano, P. 2003. Manejo integrado de ecosistemas y recursos naturales en Uruguay. Manejo y conservación de la diversidad biológica: manejo integrado de pradera. Proyecto combinado GEF/IBRD, Montevideo, s.e. pp. 32-37.

11. Bondi, A. 1989. *Nutrición animal*. Zaragoza, España, Acribia. 600 p.
12. Brody, S. 1945. *Bioenergetics and growth*. New York, US, Reinhold. pp.1 - 58.
13. Brosh, A.; Aharoni, Y.; Degen, A.; Wright, D.; Young, B. A. 1998. Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in cattle maintained under different conditions. *Journal of Animal Science*. 76(12):3054 - 3064.
14. _____; Henkin, Z.; 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.
15. _____; _____; Ungar, E. D.; Gutman, M.; Dolev, A.; Aharoni, Y. 2003. Grazing behavior and energy expenditure of cows during three seasons of the year; measurements by GPS and heart rate techniques. *In: International Symposium on the Nutrition of Herbivores (6th., 2003, Yucatán, México)*. Proceedings. Mérida, Yucatán, México, University of Yucatán. pp. 385 - 389.
16. _____; _____; Orlov, A.; Aharoni, Y. 2006a. Diet composition and energy balance of cows grazing on Mediterranean woodland. *Livestock Production Science*. 102 (1):11-22.
17. _____; _____; Ungar, E. D.; Dolev, A.; Orlov, A.; Yehuda, Y.; Aharoni, Y. 2006b. Energy cost of cows' grazing activity: use of heart rate methods and Global Positionings System for direct field estimation. *Journal of Animal Science*. 84 (7):1951-1967.
18. _____. 2007. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: a review. *Journal of Animal Science*. 85 (5): 1213-1227.
19. Bruinenberg, M. H.; Zom, R. L. G.; Valk, H. 2002. Energy evaluation of fresh grass in the diets of lactating dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 50 (1):67-81.
20. Carriquiry, M.; Espasandin, A. C.; Astessiano, A. L.; Casal, A.; Claramunt, M.; Do Carmo, M.; Genro, C.; Gutiérrez V.; Laporta, J.; López-Mazz, C.; Meikle, A.; Olmos, F.; Pérez Clariget, R.; Scarlato, S.; Trujillo, A. I.; Viñoles, C.; Soca, P. 2012. La cría vacuna sobre campo nativo: un enfoque de investigación jerárquico para mejorar su productividad y sostenibilidad. *Veterinaria (Montevideo)*. 48:41-48.

21. _____. 2013. Metabolismo de la vaca de carne y su cría en pastoreo de campo nativo: en enfoque endócrino-molecular. *In*: Carriquiry, M. ed. Metabolismo de la vaca de carne y su cría en pastoreo de campo nativo: un enfoque endócrino-molecular. Montevideo, INIA. pp. 9-16 (FPTA no. 43).
22. Casal, A.; Veyga, M.; Astessiano, A. L.; Espasandin, A. C.; Trujillo, A. I.; Soca, P.; Carriquiry, M. 2014. Visceral organ mass, cellularity indexes and expression of genes encoding for mitochondrial respiratory chain proteins in pure and crossbred mature beef cows grazing different forage allowances of native pastures. *Livestock Science*. 167:195-205.
23. _____.; Soca, P.; Carriquiry, M. 2016. Masa y composición de la canal y de los órganos en vacas de carne puras y cruza pastoreando diferentes ofertas de forraje de campo natural. *Veterinaria*. 53 (206):33-48.
24. _____.; Astessiano, A.; Espasandin, A. C.; Trujillo, A. I.; Soca, P.; Carriquiry, M. 2017. Changes in body composition during winter gestation period in mature beef cows grazing different herbage allowance of native pastures. *Animal Production Science*. 57 (3):520-529.
25. Claramunt, M.; Fernández-Foren, A.; Soca, P. 2017. Effect of herbage allowance on productive and reproductive responses of primiparous beef cows grazing on Campos grassland. *Journal of Animal Science*. 58(9):1615-1624.
26. Cottrill, B.; Dawson, L.; Yan, T.; Xue, B. 2009. A review of the energy, protein and phosphorus requirements of beef cattle and sheep. (en línea). s.l., Defra. pp. 28-38. Consultado 15 jun. 2019. Disponible en <http://scienceresearch.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=15958>
27. Cundiff, L. V.; Gregory, K. E.; Koch, R. M. 1974. Effects of heterosis on reproduction in Hereford, Angus and Shorthorn cattle. *Journal of Animal Science*. 38 (4):711-727.
28. CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, AU). 1990. Feeding standards for Australian livestock: ruminants. Melbourne. 266 p.
29. _____. 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. (en línea). Collingwood. 270 p. Consultado 2 nov. 2019. Disponible en

<http://www.do.ufgd.edu.br/fernandojunior/arquivos/valornutritivo/CSIRO%20-%20Nutrient%20Requirements%20of%20Domesticated%20Ruminants%202007.pdf>

30. Da Trindade, J. K.; Neves, F. P.; Pinto, C. E.; Bremm, C.; Mezzalira, J. C.; Nadin, L. B.; Genro, T. C. M.; Gonda, H. L.; Carvalho, P. C. F. 2016. Daily Forage Intake by Cattle on Natural Grassland: response to Forage Allowance and Sward Structure. *Rangeland Ecology and Management*. 69(1):59-67.
31. Dickerson, G. E. 1978. Animal size and efficiency: basic concepts. *Animal Production*. 27(3):367-379.
32. Di Marco, O. N.; Aello, M. S.; Méndez, D. G. 1996. Energy expenditure of cattle grazing on pastures of low and high availability. *Animal Science*. 63(1):45-50.
33. _____.; _____. 2001. Energy expenditure due to forage intake and walking of grazing cattle. (en línea). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 53:105-110. Consultado 15 jun. 2019. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352001000100017
34. _____. 2006. Eficiencia de utilización del alimento en vacunos. (en línea). *Revista Visión Rural*. 13(61):1- 4. Consultado 10 jul. 2019. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/89-eficiencia_utilizacion_alimento.pdf
35. Do Carmo, M.; Carriquiry, M.; Soca, P. 2013. Effect of forage allowance on native pasture traits, stocking rate and beef cow body condition. *In: International Grassland Congress (22nd, 2013, Sydney, AU). Proceedings*. Orange, New South Wales, New South Wales Department of Primary Industry. pp. 555-556.
36. _____.; Claramunt, M.; Carriquiry, M.; Soca, P. 2016. Animal energetics in extensive grazing systems: rationality and results of research models to improve energy efficiency of beef cow-calf grazing Campos systems. *Journal of Animal Science*. 94(6):84-92.
37. _____.; Sollenberger, L. E.; 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(1): 32-41.

38. Espasandín, A.; Do Carmo, M.; López-Mazz, C.; Cal, V.; Cáceres, O.; Bentancur, D.; Carriquiry, M.; Soca, P. 2013. Modificaciones en la oferta de forraje de campo natural y del grupo genético de vacas en busca de eficiencia en la cría vacuna. *In*: Soca, P.; Espasandín, A.; Carriquiry, M. eds. Efecto de la oferta de forraje y grupo genético de la vacas sobre la productividad y sostenibilidad de la cría vacuna en campo natural. Montevideo, INIA. pp. 55-64 (FPTA no.48).
39. Fast, O. 2016. Estudio de dos métodos de evaluación de comportamiento de vacas lecheras. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 50 p.
40. Fedak, M. A.; Rome, L.; Sheeherman, H. J. 1981. One-step N₂- dilution technique for calibrating open-circuit VO₂ measuring systems. *Journal of Applied Physiology*. 51(3):772-776.
41. Ferrell, C. L.; Garrett, W. N.; Hinman, N. 1976. Growth, development, and composition of udder and gravid uterus of beef heifers during pregnancy. *Journal of Animal Science*. 42:1477-1489.
42. _____; Jenkins, T. G. 1985. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science*. 61(3):725-741.
43. Flatt, W. P.; Moe, P. W.; Moore, L. A. 1969. Influence of pregnancy and ration composition on energy utilization by dairy cows. *In*: Blaxter, K. L.; Kielanowski, J.; Thorbek, G. eds. *Energy Metabolism of Farm Animals*. Newcastle-upon-Tyne, UK, Oriel. pp. 123- 136.
44. Fox, D. G.; Van Amburgh, M. E.; Tylutki, T. P. 1999. Predicting requirements for growth, maturity, and body reserves in dairy cattle. (en línea). *Journal of Dairy Science*. 82:1968- 1977. Consultado 12 abr. 2019. Disponible en <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0022030299754330?token=8D3647BACD4C7B61ECFEF8F33B49BF7695D688E83CDC928BC36C05A8E7C2A7A5FF7FF6896705DEC9C31ECC10FAD1371C>
45. Galli, J. R.; Cangiano, C. A.; Fernández, H. H. 1996. Comportamiento ingestivo y consumo de bovinos en pastoreo. *Revista Argentina de Producción Animal*. 16(2):119-142.

46. Gibb, M. J. 2006. Grassland management with emphasis on grazing behaviour. *In*: Elgersma, A.; Dijkstra, J.; Tamminga, S. eds. Fresh Herbage for Dairy Cattle. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 141-157.
47. Greenwood, P.; Cofe, L. 2007. Prenatal and preweaning growth and nutrition of cattle; long-term consequences for beef production. (en línea). *Animal*. 1 (9):1283-1296. Consultado 5 feb. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/221973666_Prenatal_and_pre-weaning_growth_and_nutrition_of_cattle_Longterm_consequences_for_beef_production
48. Gutiérrez, V.; Espasandin, A. C.; Astessiano, A. L.; Casal, A.; López-Mazz, C.; Carriquiry, M. 2013. Calf foetal 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*. 97(4):720- 731.
49. Haydock, K. P.; Shaw, N. H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 15(76):663-670.
50. Heitschmidt, R. K.; Taylor, C. A. Jr. 1991. Livestock Production. *In*: Heitschmidt, R. K.; Stuth, J. W. eds. *Grazing Management: and Ecological Perspective*. Portland, Oregon. pp. 161-177.
51. Herd, R. M.; Arthur, P. F. 2009. Physiological basis for residual feed intake 1. *Journal of Animal Science*. 87(14): E64-E71.
52. Houghton, P. L.; Lemenger, R. P.; Hendrix, K. S.; Moss, G. E.; Stewart, T. S. 1990. Effects of body composition, pre- and postpartum energy intake and stage of production on energy utilization by beef cows. *Journal of Animal Science*. 68 (5):1447-1456.
53. Jenkins, T. G.; Ferrell, C. L. 1994. Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availabilities: 1: Initial evaluation. *Journal of Animal Science*. 72(11):2787-2797.
54. Johnson, K. A.; Johnson, D. E.; 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*. 73(8): 2483-2492.
55. Ketelaars, J. H.; Tolkamp, B. J. 1996. Oxygen efficiency and the control of energy flow in animals and humans. *Journal of Animal Science*. 74(12):3036-3051.

56. Kleiber, M. 1975 *The Fire of life: an Introduction to Animal Energetics*. New York, Wiley. 454 p.
57. Laporta, J.; Astessiano, A. L.; López-Mazz, C.; Soca, P.; Espasandín, A. C.; 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. *Animal*. 8 (7):1119-1129.
58. McDonald, P.; Edwards, R. A.; Greenhalgh, J. F. D.; Morgan, C. A. 1999. *Nutrición animal*. 5ª. ed. Zaragoza, Acribia. 576 p.
59. McLeod, K. R.; Baldwin, R. L. 2000. Effects of diet forage: concentrate ratio and metabolizable energy intake on visceral organ growth and in vitro oxidative capacity of gut tissues in sheep. *Journal of Animal Science*. 78(3): 760-770.
60. Maraschin, G. E.; Moojen E. L.; Escoteguy, C. M. D.; Correa, L.; Apezteguia, E. S.; Boldrini, I. I. 1997. Native pasture, forage on offer and animal response. *In*: International Grassland Congress (18th., 1997, Saskatoon). Proceedings. Calgary, s.e. pp. 27-29.
61. Mendoza Martínez, G. D.; Plata Pérez, F. X.; Espinosa Cervantes, R.; Lara Bueno, A. 2008. Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de energía en bovinos. *Universidad y Ciencia*. 24 (1):75-87.
62. MGAP. OPYPA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Política Agropecuaria, UY). 2018. Anuario OPYPA 2018. (en línea). Montevideo. 457 p. Consultado 10 abr. 2019. Disponible en <http://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuario%202018/ANUARIO%20OPYPA%202018%20WEB%20con%20v%C3%ADnculo.pdf>.
63. Milligan, L. P.; McBride, B. W. 1985. Energy costs of ion pumping by animal tissues. *The Journal of Nutrition*. 115(10):1374-1382.
64. Morris, C. A.; Baker, R. L.; Johnson, D. L.; Carter, A. A. H.; Hunter, J. C. 1987. Reciprocal crossbreeding of Angus and Hereford cattle 3. Cow weight, reproduction, maternal performance and lifetime production. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 30 (4):453-467.
65. Moss, A. R.; Jouany, J.; Newbold, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*. 49 (3):231-253.

66. Mott, G. O. 1960. Grazing pressure and the measurement of pasture production. In: International Grassland Congress (8th., 1960, Reading, GB). Proceedings. Oxford, Alden Press. pp. 606-611.
67. Nabinger, C.; De Moraes, A.; Maraschin, G. E. 1999. Campos in southern Brazil. In: Lemaire, G.; Hodgson, J.; de Moraes, A.; Nabinger, C.; Carvalho, P. eds. Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. Cambridge, UK, Cambridge University. pp. 355-376.
68. Nagy, K. A. 1989. Field bioenergetics; accuracy of models and methods. *Physiological Zoology*. 64(2):237-252.
69. Nicol, A. M.; Young, B. A. 1990. Short-term thermal and metabolic responses of sheep to ruminal cooling: effects of level of cooling and physiological state. *Canadian Journal of Animal Science*. 70(3):833-843.
70. Nkrumah, J. D.; Okine, E. K.; Mathison, G. W.; Schmid, K.; Li, C.; Basarab, J. A.; Moore, S. S. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency , performance , and feeding behavior with metabolic rate , methane production , and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 84(1):145-153.
71. NRC (National Research Council, US). 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. Washington, D. C., National Academy Press. 168 p.
72. _____. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. 7th. ed. rev. Washington, D. C., National Academy Press. 232 p.
73. _____. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th. rev. ed. Washington, D. C., National Academy Press. 234 p.
74. Olmos, F.; Franco, J.; Sosa, M. 2005. Impacto de las prácticas de manejo en la productividad y diversidad de pasturas naturales. In: Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural (2005, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 93-103 (Serie Técnica no. 151).
75. Osuji, P. O. 1974. The physiology of eating and the energy expenditure of the ruminant at pasture. *Journal of Range Management*. 27 (6):437-443.

76. Reynolds, C. K.; Crompton, L. A.; Mills, J. A. N. 2011. Improving the efficiency of energy utilisation in cattle. *Animal Production Science*. 51(1):6-12.
77. Rovira, J. 1996. Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo. Montevideo, Hemisferio Sur. 321 p.
78. Short, R. E.; Bellows, R. A.; Staigmiller, R.; Berardinelli, J. G.; Custer, E. E. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*. 68 (3):799-816.
79. Soares, A. B.; Carvalho, P. C. F.; Nabinger, C.; Frizzo, A.; Pinto, C. E.; Junior, J. A. F.; Semmelmann, C.; Da Trindade, J. 2003. Effect of changing herbage allowance on primary and secondary production of natural pasture. In: International Rangeland Congress (7th., 2003, Durban, South Africa). Proceedings. Durban, Grassland Society of Southern Africa. pp. 966-968.
80. Soca, P.; Orcasberro, R. 1992. Propuesta de manejo del rodeo de cría en base a estado corporal, altura del pasto y aplicación de destete temporario. In: Jornada de Producción Animal (1992, Paysandú). Evaluación física y económica de alternativas tecnológicas en predios ganaderos. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. pp. 54-56.
81. _____; Do Carmo, M.; Claramunt, 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. *Avances en Producción Animal*. 32: 3-26.
82. _____; Espasandin, A.; Carriquiry, M. 2013a. Efecto de la oferta de forraje y grupo genético de las vacas sobre la productividad y sostenibilidad de la cría vacuna en campo natural. In: Soca, P.; Espasandin, A.; Carriquiry, M. eds. Efecto de la oferta de forraje y grupo genético de las vacas sobre la productividad y sostenibilidad de la cría vacuna en campo natural. Montevideo, INIA. pp. 9- 12 (FPTA no. 48).
83. _____; Carriquiry, M.; Do Carmo, M. 2013b. Forage allowance and cow genotype, tools to increase animal production in native pastures. In: International Grassland Congress (22nd., 2013, Sydney). Proceedings. Orange, New South Wales, New South Wales Department of Primary Industry. pp. 579-580.

84. _____.; _____.; Keisler, D. H.; Claramunt, M.; Do Carmo, M.; Olivera – Musante, M. J.; Rodriguez, M.; Meikle, A. 2013c. Reproductive and Productive Response to Suckling Restriction and Dietary Flushin in Primiparous Grazing Beef Cows. *Animal Production Science*. 53:283-291.
85. Sollenberger, L. E.; Moore, J. E.; Allen, V. G.; Pedreira, C. G. S. 2005. Reporting forage allowance in grazing experiments. (en línea). *Crop Science*. 45:896-900. Consultado 11 abr. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/%20publication/236594602_Reporting_Forage_Allowance_in_Grazing_Experiments-
86. Stuedemann, J. A.; Franzluebbbers, A. J. 2007. Cattle performance and production when grazing Bermudagrass at two forage mass levels in the southern Piedmont. *Journal of Animal Science*. 85(5):1340-1350.
87. Susenbeth, A.; Mayer, R.; Koehler, B.; Neumann, O. 1998. Energy requirement for eating in cattle. *Journal of Animal Science*. 76(10):2701-2705.
88. Trowbridge, P. F.; Moulton, C. R.; Haigh, L. D. 1915. The maintenance requirement of cattle. University of Missouri. Missouri Agriculture Experimental Station Research. Bulletin no. 18. 62 p.
89. Vizcarra, J. A.; Ibáñez, W.; Orcasberro, R. 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas*. no. 7:45-47.
90. Wales, W. J.; Doyle, P. T.; Stockdale, C. R.; Dellow, D.W. 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(2):119-130.
91. Wang, Y. J.; Wood, K. M.; Martin, L.; Holligan, S.; Kelly, N.; McBride, B. W.; Fan, M. Z.; Swanson, K. C. 2009. Effect of dietary corn silage inclusion on visceral organ mass, cellularity, and the protein expression of ATP synthase, Na⁺/K⁺ -ATPase, proliferating cell nuclear antigen and ubiquitin in feedlot steers. *Canadian Journal of Animal Science*. 89(4): 503–512.
92. Wenk, C.; Colombani, P. C.; Van Milgen, J.; Lemme, A. 2001. Glossary: terminology in animal and human energy metabolism. *In*: Symposium on Energy Metabolism in Animals (15th., 2000, Snekkersten, Denmark). Proceedings. Wageningen, EEAP. pp. 409-421.