

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**GASTO ENERGÉTICO DE VACAS HOLANDO CON Y SIN LA INCLUSIÓN
DE PASTURA EN LA DIETA**

por

Alejandra Stephanie JASINSKY FLORES

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
Febrero 2019

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. (Dra.) Ana Inés Trujillo (Presidente), Ing. Agr. (Dr.) Alejandro Mendoza (Vocal), y Mvet (Dr.) Martín Aguerre (Vocal), el 14 de febrero de 2019. Autora: (Lic.) Alejandra Jasinsky Directora: Ing. Agr. (PhD) Mariana Carriquiry, Co-director Ing. Agr. (Dr.) Diego Mattiauda.

Dedico este trabajo a mi amiga y compañera de camino Fiama

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, Mariana Carriquiry y Diego Mattiauda, gracias por brindarme las herramientas y la confianza para realizar y culminar este trabajo.

A Mauro, gracias por la ayuda, la confianza, y la paciencia para que este proyecto en mi vida pueda hacerse realidad.

A mi familia, gracias por su apoyo, por acompañarme durante todo este proceso, y por darme fuerzas para continuar creciendo en mi carrera.

A Mateo Ceriani, Matías Oborsky, tesisistas de grado, al personal del tambo y de agricultura por su ayuda incondicional de todos los días, sin ellos este trabajo no se habría podido llevar adelante.

A Alberto Casal, Ana Laura Astessiano, Ana Espasndín, gracias por estar siempre, acompañándome y brindándome su apoyo durante toda la carrera.

A la Ing. Agr. (Dra.) Ana Inés Trujillo, Ing. Agr. (Dra.) Laura Astigarraga, Ing. Agr. (Dr.) Alejandro Mendoza, y Mvet (Dr.) Martín Aguerre, gracias por sus aportes para la mejorar este trabajo.

A la Comisión Académica de Posgrado por las becas otorgadas para la realización y la finalización de mi estudio de posgrado.

A INIA y ANII por el financiamiento de los proyectos en que se enmarca mi trabajo de tesis.

TABLA DE CONTENIDO

PAGÍNA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN.....	VII
SUMMARY	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. PLANTEO DEL PROBLEMA	1
1.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	3
1.2.1. <u>Conceptos de bioenergética</u>	3
1.2.2. <u>Energía de mantenimiento</u>	5
1.2.3. <u>Eficiencia en el uso de la energía</u>	9
1.2.4. <u>Calorimetría indirecta</u>	10
1.3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	12
1.3.1. <u>Hipótesis</u>	12
1.3.2. <u>Objetivo general</u>	12
1.3.3. <u>Objetivos específicos</u>	12
1.4. ESTRUCTURA DE LA TESIS	13
2. <u>HEAT PRODUCTION AND BODY COMPOSITION OF PRIMIPAROUS HOLSTEIN COWS WITH OR WITHOUT GRAZING PASTURES IN EARLY LACTATION</u>	15
2.1. ABSTRACT.....	16
2.2. INTRODUCTION	17
2.3. MATERIALS AND METHODS.....	19
2.3.1 <u>Experimental design, animals, and treatments</u>	19
2.3.1.1. Urea dilution technique	21
2.3.1.2. Heat production.....	22
2.3.1.3. Calculations and statistical analyses	23
2.4. RESULTS	24
2.4.1. <u>Changes in body composition during early lactation</u>	24
2.4.2. <u>Energy partitioning during the second month of lactation</u>	25
2.5. DISCUSSION	30
2.5.1. <u>Changes in body composition during early lactation</u>	30
2.5.2. <u>Energy partitioning during the second month of lactation</u>	31
2.6. CONCLUSION	35

2.7. ACKNOWLEDGMENTS	35
2.8. REFERENCES.....	35
3. <u>EFFECTO DEL PASTOREO EN LA PRODUCCIÓN TOTAL DE CALOR Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE VACAS HOLANDO MULTÍPARAS EN LACTANCIA TEMPRANA Y MEDIA</u>	42
3.1. RESUMEN	43
3.2. SUMMARY	44
3.3. INTRODUCCIÓN.....	45
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.4.1. <u>Diseño experimental, animales y tratamientos</u>	46
3.4.2. <u>Producción total de calor</u>	49
3.4.3. <u>Cálculos y análisis estadístico</u>	50
3.5. RESULTADOS	51
3.6. DISCUSIÓN.....	55
3.7. CONCLUSIÓN	60
3.8. AGRADECIMIENTOS.....	60
3.9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
4. <u>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES</u>	66
4.1. DISCUSIÓN	66
4.2. CONCLUSIONES	71
5. <u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	73

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del pastoreo sobre la partición de energía metabolizable (EM) consumida entre la producción de calor (HP) y la energía retenida (ER) en vacas lecheras. Se realizaron dos experimentos con diseño en bloques completos al azar. En el experimento 1, vacas primíparas con partos en otoño se asignaron a dos estrategias de alimentación: vacas alimentadas con 100% DTM *ad libitum*, control (G0.E1) o vacas pastoreando alfalfa y suplementadas con DTM (ofrecido al 70% del consumo *ad libitum*) (G1.E1). En el experimento 2, vacas multíparas con partos en primavera a dos estrategias alimenticias: 100% DTM *ad libitum* (G0.E2) y pastoreo más suplementación con concentrado o DTM (G1.E2). La HP se midió utilizando la técnica de pulso de O₂ a los 40 días de lactancia (lactancia temprana) en el experimento 1 y a los 35 y 150 días de lactación (lactancia temprana y media, respectivamente) en el experimento 2 y el balance de energía se determinó para el período entre la medición de HP ± 14 días (26 a 54 ± 3 días y de los 21 a 49 y 136 a 164 ± 11 días de lactancia para el experimento 1 y 2, respectivamente). En el experimento 1, en lactancia temprana, la ER- leche y la ER-tejido, por lo tanto la ER-total, fueron mayores para las vacas G0.E1 que para G1.E1 mientras que la HP y el consumo de EM (ER total+HP) no se diferenció entre las estrategias nutricionales. En el experimento 2, si bien la partición de la ER entre leche y tejido varió para los tratamientos y momentos evaluados, la ER total no difirió entre tratamientos ni momentos de lactancia. El consumo de EM disminuyó de lactancia temprana a media, pero esta disminución fue significativa solamente para las vacas G0.E2. La HP diaria tendió ($p = 0,08$) a ser de 10 a 15% menor para las vacas G0.E2 que G1.E2 y disminuyó de lactancia temprana a media. Sin embargo, en ambos experimentos, la inclusión de pastoreo en la dieta de vacas lecheras disminuyó en la eficiencia en el uso de la EM consumida, ajustada por cambios en las reservas corporales, frente a vacas alimentadas con 100% DTM. Esta disminución se asoció a un aumento del 10-15% de la HP residual en relación al consumo de EM en las vacas en pastoreo, posiblemente explicado por un incremento en los requerimientos energéticos mantenimiento debido al incremento de los costos de actividad, digestión y/o metabolismo.

Palabras clave: ganado lechero, gasto energético, nutrición, pastoreo

ENERGY EXPENDITURE IN HOLSTEIN COWS WITH OR WITHOUT GRAZING PASTURES IN DIET

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the effect of grazing on the partitioning of the consumed metabolizable energy (ME) between heat production (HP) and retained energy (RE) in dairy cows. Two experiments in randomized complete block designs were performed. In experiment 1, primiparous cows calved in fall were assigned to two feeding strategies: cows fed 100% TMR *ad libitum*, control (G0.E1) or cows grazing alfalfa and supplemented with TMR (offered at 70% of *ad libitum* intake) (G1.E1). In experiment 2, multiparous cows calved in spring were assigned to two feeding strategies: 100% TMR *ad libitum* (G0.E2) or grazing plus supplementation with concentrate or TMR (G1.E2). The HP was measured using the O₂ pulse technique at 40 days of lactation (early lactation) in experiment 1 and at 35 and 150 days of lactation (early and mid-lactation, respectively) in experiment 2. Energy balance was determined between HP measurement $\pm$ 14 days (from 26 to 54 $\pm$ 3 days 1 and from 21 to 49 and 136 to 164 $\pm$ 11 days of lactation for experiment 1 and 2, respectively). In experiment 1, in early lactation, RE-milk and RE-tissue, thus, total-RE, were greater for G0.E1 than G1.E1 cows while HP and ME intake (total RE + HP) did not differ between nutritional strategies. In experiment 2, although the partition of RE between milk and tissue varied for the treatments and moments evaluated, total RE did not differ due to treatment or stage of lactation. The ME intake decreased from early to mid-lactation, but this decrease was significant only for G0.E2 cows and daily HP tended ($p = 0.08$) to be 10 to 15% lower for G0.E2 than G1.E2 cows and decreased from early to medium lactation. However, for both experiments, the inclusion of grazing in the diet of dairy cows decreased gross energy efficiency of consumed ME, adjusted for changes in body reserves, compared with cows fed 100% DTM. This decrease was associated with a 10-15% increase in residual HP in relation to ME intake for grazing cows, possibly explained by an increase in maintenance energy requirements due to increased activity costs, digestion and/or metabolism.

Keywords: dairy cattle, energy expenditure, nutrition, grazin

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEO DEL PROBLEMA

La expansión de la población mundial contribuye al incremento de la demanda de fuentes proteicas y energéticas de origen animal, como la leche, situación que se da en un contexto de competencia de la tierra frente a otras actividades económicas (FAO, 2011). A su vez, el cambio climático genera condiciones ambientales cada vez más variables y desfavorables para la producción y los consumidores exigen normas de manejo, bienestar animal, y cuidado del medio ambiente, lo que determina la necesidad de incrementar la eficiencia del uso de los recursos para la producción animal de una manera sustentable (Hurley et al., 2016). Uruguay, no es ajeno a este contexto determinando que la lechería se esfuerce por mejorar su nivel de competitividad, produciendo más, no solo en calidad sino también en cantidad, en menos espacio (DIEA, 2015), siendo este sector uno de los sectores productivos más dinámicos de nuestro país.

El desarrollo del sector ha posicionado a Uruguay como exportador de lácteos, vocación que se manifiesta al comprobarse que el 70% de la leche remitida a plantas industrializadoras se vuelca al mercado exterior y ubica al país entre los cuatro primeros en el mundo de mayor perfil exportador (INALE, 2014). La producción de leche en Uruguay ha tenido un incremento sostenido durante los últimos 15 años, a una tasa del 5% anual, como resultado de un aumento en productividad por unidad de superficie ya que el área destinada a la lechería se redujo un 20% en el mismo período (DIEA, 2015). Esta intensificación de la producción está basada en un incremento significativo en el uso de concentrados y reservas de forraje, mientras que la cosecha directa de forraje por parte de los animales ha permanecido incambiada (Chilibroste et al., 2011). La participación relativamente alta del forraje en la dieta (cosecha directa más reservas), hace que costo de producción de los sistemas lecheros uruguayos sea relativamente bajo (Chilibroste et al., 2011) ya que el mismo está determinado en un alto porcentaje por el costo de la alimentación (50 a 70% del costo total para el Uruguay; Alqaisi et al., 2011). El bajo costo de producción es lo que nos da la

competitividad a nivel internacional al ser el indicador más importante en determinar el resultado económico de los sistemas lecheros (Alqaisi et al., 2011).

Sin embargo, Chilbroste y Battezzore (2015) han indicado que la eficiencia de los sistemas lecheros uruguayos se encuentra por debajo de la media internacional para otros sistemas pastoriles. Se ha reportado que los sistemas pastoriles tienen limitantes para mantener una condición corporal (CC) adecuada de las vacas y una producción de leche superior a 30 kg/d (Dillon et al. 2003; Kolver y Muller, 1998). Es así que, la alimentación suplementaria con concentrado o ración mixta total (DTM) ha demostrado aumentar la producción de leche y reducir la movilización de las reservas corporales durante la lactancia temprana (Meikle et al. 2013, Wales et al. 2013, Fajardo et al. 2015), momento en que las vacas movilizan reservas corporales, tanto de grasa como de proteínas musculares (Gibb et al. 1992, Tamminga et al. 1997, van der Drift et al. 2012), ya que su consumo de materia seca (MS) no es suficiente para satisfacer sus necesidades nutricionales. Por lo tanto, los sistemas mixtos de producción constituyen una alternativa para la producción lechera sostenible (FAO, 2011).

La producción de las vacas lecheras en condiciones de pastoreo es frecuentemente inferior a la estimada, a partir del suministro de nutrientes y energía de las pasturas, por los sistemas de alimentación internacionales (Gruber et al., 2007). Las razones de esta discrepancia no están claras, pero se ha reportado los mayores requerimientos de energía de mantenimiento debido, entre otros factores, al desbalance proteína:energía de las pasturas que lleva un aumento del costo asociado al metabolismo y excreción de excesos de nitrógeno, a la proporción de forraje en la dieta asociado a aumentos de la masa y actividad de las vísceras del tracto gastrointestinal y al costo de la actividad de pastorear y caminar (Bruinenberg et al., 2002; Agnew y Yan, 2000; Dong et al., 2015b). En este sentido, si bien los sistemas de alimentación modifican los costos de mantenimiento para animales en pastoreo, los valores recomendados varían considerablemente, entre un 10 a un 50% de incremento en comparación con animales estabulados (NRC, 2001, CSIRO, 2007). Sin embargo, la información sobre el gasto energético en vacas lecheras en pastoreo es escasa.

Kaufmann et al. (2011) y Dohme-Meier et al. (2014) observaron que el gasto energético en vacas lecheras en pastoreo era 18-20% mayor que el de vacas consumiendo la misma pastura en estabulación.

Es así que, con el fin de estimar correctamente las demandas de energía y comprender las diferencias entre distintos sistemas en eficiencia de producción (ej. sólidos o energía secretada en leche/alimento o energía consumida), datos adicionales sobre el gasto energéticos de vacas leche en pastoreo a lo largo de la lactancia son necesarios (Dohme-Meier et al., 2014). En este contexto, este trabajo busca investigar cómo impacta la inclusión del pastoreo en la dieta de vacas lecheras sobre la partición de la energía entre producción calor y energía retenida (ER; leche vs. tejido) y la eficiencia energética de producción.

1.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

1.2.1. Conceptos de bioenergética

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

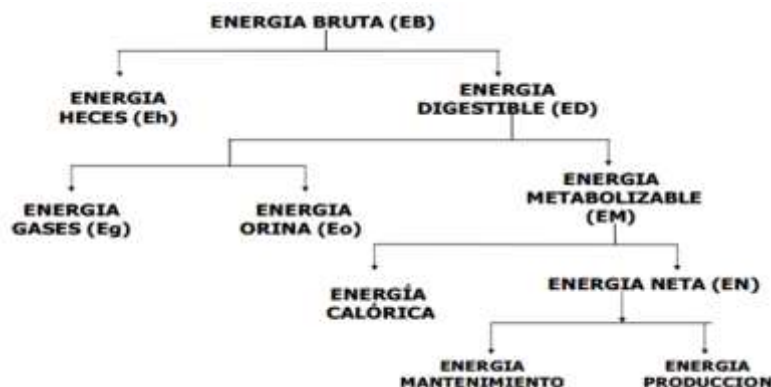


Figura 1. Esquema convencional de partición de la energía (Mc Donald, 1999)

La EB es la energía liberada como forma de calor a partir de la combustión completa del alimento en una bomba calorimétrica (calor de combustión) y se expresa en Mcal/kg o MJ/kg. La EB menos la energía perdida en el alimento no digerido (energía fecal) se conoce como energía digestible (ED). La ED depende de la digestibilidad de alimento que depende, entre otros factores, del tipo de alimento (ej. carbohidratos fibrosos vs. solubles), del procesamiento de los alimentos y del consumo de MS o energía. Cuando a la ED se le descuenta la energía perdida en los productos gaseosos de la digestión y la energía perdida en la orina (principalmente bajo forma de urea), se obtiene la energía metabolizable (EM). Las pérdidas en orina dependen de la proteína de la dieta, de la relación proteína/energía y del equilibrio o desequilibrio de los aminoácidos. Por otro lado, las pérdidas en gases, metano (CH₄), dependen del nivel de fibra de la dieta y de los aditivos. La EM representa la porción de energía de los alimentos que queda disponible para los procesos metabólicos (metabolismo celular) del animal. Por consiguiente, la EM proporciona una medida adecuada del valor nutritivo de los alimentos, definiendo metabolicidad (q) como la EM de un alimento dividida por la EB, valor que varía considerablemente con el tipo de ración y la especie animal en estudio (Bondi, 1989). Por último, se debe descontar el incremento calórico, que se define como el incremento en calor por aumento del consumo de alimento, y se origina en el calor de fermentación ruminal, del metabolismo de los nutrientes, del trabajo del aparato digestivo, de la actividad de los órganos para metabolizar los nutrientes y la excreción de desechos generados en el

metabolismo. Cuando estas últimas pérdidas de energía se toman en consideración, la energía restante se denomina energía neta (EN), que será empleada por el animal para las funciones fisiológicas como las de mantenimiento (ENm), o retenida (ER) como tejidos corporales o producción de leche.

1.2.2. Energía de mantenimiento

El mantenimiento es el estado fisiológico en cual no hay cambio neto en la energía corporal o cuando el balance de energía es cero (Baldwin, 1995). Por lo tanto, la energía de mantenimiento de un animal es la fracción de la EN consumida necesaria para mantener el equilibrio energético del animal (NRC, 2001). La estimación de la energía requerida para el mantenimiento incluye: la energía requerida para el metabolismo basal, término en el que están incluidas las funciones de servicio y el mantenimiento celular (Baldwin, 1995), la actividad voluntaria del animal (en confinamiento y en un ambiente no estresante) y la termorregulación. Las funciones de servicio están relacionadas a la propia existencia del individuo, e incluyen todas aquellas vinculadas al funcionamiento de los sistemas respiratorio y circulatorio, actividades de excreción y la transmisión nerviosa, fundamentalmente. Éstas representan del 40 al 50% de la energía utilizada para el metabolismo basal y están muy poco influenciadas por factores externos al animal (Smith and Baldwin 1974, Baldwin et al. 1980). La energía destinada al mantenimiento celular incluye el transporte de iones y la renovación de proteínas y lípidos que representan del 50 al 60% de la energía utilizada para el metabolismo basal y son dependientes de factores propios y externos al animal (Smith y Baldwin 1974, Baldwin et al. 1980).

Los gastos por mantenimiento se estiman como una proporción del peso metabólico de cada animal ($PV^{0.75}$). Sin embargo, varían, 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 esos órganos y tejidos (McLeod y Baldwin 2000, Baldwin et al. 2004) y la composición corporal, factores que serán variables según la raza (Jenkins y Ferrell, 1994), estados fisiológicos, niveles nutricionales y de producción (NRC, 2001). Si bien inicialmente se estableció que los

requerimientos de ENm en vacas lecheras eran de $0,073 \text{ Mcal/kgPV}^{0,75}$ (valor determinado para animales estabulados), el mismo se incrementó en un 10% para considerar la actividad normal por movimiento de los animales. Por lo tanto, según NRC (2001), los requerimientos de ENm de vacas lecheras se estiman en $0,080 \text{ Mcal/kgPV}^{0,75}$. Sin embargo, para animales en pastoreo se le debe sumar la energía necesaria para el pastoreo y la búsqueda del alimento.

La magnitud de la energía asociados con la actividad en animales en pastoreo, así como su impacto sobre la producción animal no está clara, está poco documentada, es altamente variable y ha generado controversia durante los últimos 30 años. Blaxter (1967) sugirió que en ganado ovino y vacuno los requerimientos de mantenimiento se incrementan de un 11 a un 15% por la actividad de pastorear. Sin embargo, Osuji (1974) sugiere que las actividades en la pastura pueden aumentar los requerimientos de energía de los rumiantes de 25 a 50% por encima a la de animales confinados y que una parte importante del incremento en energía debido a la colecta de forraje correspondía al costo de caminar y trasladarse. El modelo NRC (2001) incrementa los requerimientos de ENm para vacas lecheras en pastoreo considerando que el costo de la actividad extra es atribuible principalmente a la distancia entre la sala de ordeño y la pastura, a la proporción de la pastura en la dieta y al mayor tiempo destinado a comer y caminar en diferentes topografías en animales en pastoreo. Es así que, los requerimientos de ENm se incrementan $0,00045 \text{ Mcal/kg PV}$ por cada km caminado y las necesidades para pastoreo se calculan en $0,0012 \text{ Mcal/kg PV}$ cuando la pastura representa un 60% de la dieta. A su vez, se considera también un ajuste de topografía que considera para una vaca que camina 200 metros verticalmente un incremento de 0.006 Mcal/kg PV . Por otra parte, CSIRO (2007) indica que la actividad de pastoreo incrementa el gasto energético de mantenimiento de vacas lecheras de 20 a 50% dependiendo de la topografía del terreno y de las condiciones de pastoreo como la disponibilidad (producción y accesibilidad) y digestibilidad del forraje, distancias recorridas, condiciones climáticas y la combinación de estos factores.

Datos recientes mostraron que el gasto energético en vacas lecheras en pastoreo era 18-20% mayor que el de vacas consumiendo la misma pastura en estabulación

(Kaufmann et al., 2011; Dohme-Meier et al. 2014). A su vez, Dohme-Meier et al. (2014) señalaron que no existieron diferencias en el gasto energético de vacas en pastoreo o consumiendo pastura en confinamiento a lo largo de la lactancia, pero indicaron que el efecto de la etapa lactancia podría estar confundido con los factores ambientales que modificaron el comportamiento animal. No existen, en nuestro conocimiento, otros trabajos que hayan medido el gasto energético en conjunto con el comportamiento de vacas lecheras en pastoreo a lo largo de la lactancia.

Datos regionales (Di Marco y Aello, 2001) mostraron en novillos Aberdeen Angus que los requerimientos de energía en relación con el mantenimiento pueden aumentar entre 8 y 30% dependiendo de las condiciones de pastoreo y que la actividad de pastoreo a altas tasas de bocados es el componente de actividad de mayor costo energético y el de mayor incidencia en el mantenimiento del animal en pastoreo. Asimismo, estimaciones internacionales en vacas de carne en pastoreo indicaron que las actividades de pastoreo, caminata y estar parado representaron del 5 a 12% de la producción total de calor para una variedad de estaciones del año (diferentes características de la pastura y estados fisiológico de la vaca), de carga animal, de tamaño de parcelas de pastoreo y genotipos de vaca de cría (Brosh et al., 2006; 2010).

A su vez, las dietas basadas en pasturas presentan un alto contenido de fibra y desbalance energía-proteína que aumentarían los costos de digestión y metabolismo, incrementando el costo energético de mantenimiento independientemente del costo asociado a las actividades de caminar y pastorear (Bruinenberg et al., 2002; Agnew y Yan, 2000; Dong et al., 2015b). Es así que, Bruinenberg et al. (2002) determinaron que los requerimientos para vacas lecheras multíparas en pastoreo es 10% más que lo estimado por los sistemas de alimentación basados en animales estabulados. Recientemente, Dong et al. (2015b), resumiendo información de 32 experimentos (más de 900 vacas) en cámaras calorimétricas, determinó que el requerimiento de mantenimiento varió con la proporción de forraje en la dieta, siendo un 10% mayor cuando las dietas incluían más de 60% de forraje en comparación con aquellas con menos de 30%.

Finalmente, el estrés térmico, por calor y por frío, afectan significativamente los requerimientos energéticos de mantenimiento de los animales. También se ha

reconocido, entre otros factores, que la productividad animal es alterada por la acción del viento, humedad, precipitación y radiación. Se estima que el estrés por calor hace que aumente los costos de mantenimiento en vacas lecheras hasta un 25% y algunos sugieren que puede ser superior al 30% (NRC, 2001; Fox and Tylutki, 1998) y que, si bien los animales se adaptan muy bien a condiciones frías, cuando las temperaturas mínimas son extremas se producen reducciones de 14 a 20% en la ganancia de peso, conversión del alimento y cantidad de leche producida (Christison y Milligan, 1974; Young, 1981; Birkelo y Johnson, 1986). Collin et al. (2001) mencionaron que en condiciones bajo o sobre la zona de termoneutralidad, la energía es reorientada a funciones tendientes a mantener la condición homeotérmica y en algunos casos puede existir un aumento en la demanda de energía para estos procesos.

La retención de energía en el animal se encuentra relacionada con el consumo de EM (Figura 2; Wenk et al., 2001). Si la ingestión de EM es cero (es decir, el animal esta en ayuno), la retención de energía es negativa; en esta situación, el animal utiliza sus reservas corporales para proporcionar energía para su metabolismo basal y esta energía es liberada en forma de calor. A medida que aumenta la ingestión de EM, la pérdida de energía (es decir, la ER negativa) disminuye y si la ER es cero, la ingestión de 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 positiva), bien en tejidos corporales o en productos como la leche. La pendiente de la línea que relaciona la retención con la ingestión de energía es una medida de eficiencia de utilización de la EM. 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. Por otra parte, la eficiencia de utilización de la EM es variable (zona sombreada; Figura 2) ya que la misma es afectada entre otros factores, por el tipo de alimento y su digestión (Reynolds et al., 1992; Dong et al., 2015a,b) así como por la actividad física que realizan los animales para consumir el alimento (Brosh et al., 2006). Particularmente, (Dong et al., 2015a,b) reportaron, a diferencia de los diferentes sistemas de alimentación

internacionales, que los requerimientos de energía para mantenimiento ($\text{MJ/kg PV}^{0,75}$) no son constantes, sino que se encuentran positivamente relacionados con el consumo de $\text{EM/kgPV}^{0,75}$ (Dong et al. 2015a) y por la relación forraje: concentrado de la dieta (Dong et al. 2015b). Sin embargo, ninguno de estos factores afectó la eficiencia de uso de la EM para lactación (kl).

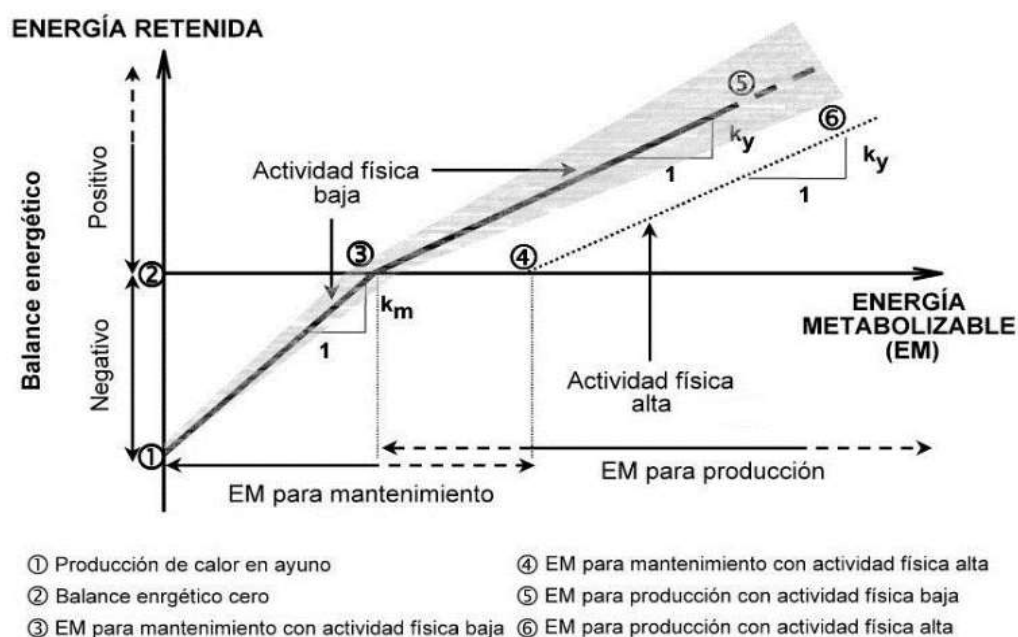


Figura 2. Utilización de la energía metabolizable (EM) consumida. Adaptado de Wenk et al., (2001)

1.2.3. Eficiencia en el uso de la energía

Brody (1945) y Kleiber (1975) definieron dos tipos de eficiencia energética en los sistemas de producción: la eficiencia neta o parcial y la eficiencia bruta o total. La eficiencia neta es la ER en producto animal (ej. tejidos corporales, leche) dividida por la energía consumida por encima de mantenimiento (resta entre la energía consumida y la utilizada para la función de mantenimiento) y depende de la digestibilidad de los alimentos y el metabolismo de los nutrientes. Por otra parte, la eficiencia bruta se refiere a la proporción de la energía consumida que es retenida en producto animal

(leche y reservas corporales). Es así que, esta última depende también de la partición de la energía entre mantenimiento y producción.

La eficiencia bruta es una medida clave de la eficiencia alimenticia en los sistemas de producción lecheros, impactando en el costo del alimento por unidad de producto y en el ingreso neto de los productores. A su vez, es un factor que impacta en forma importante sobre las emisiones de gases efecto invernadero, asociándose a la eficiencia ambiental de los sistemas (Capper et al., 2009). En términos generales, la eficiencia se ha incrementado sostenidamente durante los últimos 50 años como resultado de seleccionar y manejar a las vacas para incrementar su productividad (Capper et al., 2009). Este incremento de productividad ha resultado en que un mayor porcentaje de la energía consumida sea usada para la producción de leche en vez de para mantenimiento. Sin embargo, existe evidencia de que esta manera de incrementar la eficiencia de producción no es sustentable para las vacas lecheras ya que por un lado, altos niveles de producción de leche se han asociado a disminución de la reproducción, salud y longevidad y por otro la interacción genotipo- ambiente puede afectar la eficiencia de producción (Puillet et al., 2016).

Si bien la eficiencia alimenticia sería mejor considerarla a nivel del sistema de producción, para la comprensión de los factores fisiológicos que la determina es razonable considerar la eficiencia a nivel de la vaca individual (VandeHaar et al., 2016). A pesar de que la intensificación en los sistemas productivos, que maximizan la eficiencia alimenticia, la comprensión de los factores fisiológicos que explican la misma en vacas lecheras en pastoreo es escasa (Dohme-Meier et al., 2014).

1.2.4. Calorimetría indirecta

La calorimetría indirecta 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. Este método es el más utilizado para determinar la producción de calor en animales domésticos debido a que es económicamente más accesible y sencillo comparado con la técnica de calorimetría directa. De hecho, existen diferentes técnicas para determinar la producción total de calor mediante la calorimetría indirecta,

en las que encontramos el intercambio respiratorio, que se fundamenta en que la oxidación de los nutrientes produce calor, existiendo una relación entre el calor producido y el oxígeno (O₂) consumido según el sustrato oxidado, la técnica de tasa de dilución de CO₂, esta técnica permite estimar la producción de CO₂, y la técnica de Pulso O₂, esta es la técnica que utilizamos en nuestro experimentos para estimar la producción total de calor, fue desarrollada por Brosh et al. (1998) en la cual se sugiere la estimación del gasto energético de rumiantes mediante el registro de la tasa cardíaca y el O₂ consumido. Consiste en la medición de frecuencia cardíaca durante varios días (4-5 d) y 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 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).

La existencia de dispositivos radiotransmisores capaces de registrar las pulsaciones por minuto en animales en su hábitat natural permiten determinar esta característica sin necesidad de crear un ambiente de experimentación artificial. Los autores demuestran que con esta metodología es posible medir el gasto energético en animales sometidos a diversas situaciones nutricionales, climáticas y topográficas (Brosh, 2007). A su vez, este método tiene la capacidad de estimar el gasto energético para períodos cortos de tiempo, por lo tanto, cuando se combina con registro de comportamiento es adecuado para evaluar el efecto de actividades puntuales del animal como lo son la caminata, pastoreo, consumo y comportamiento social (Brosh et al., 2006; Aharoni et al., 2009).

1.3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

1.3.1. Hipótesis

La producción total de calor de las vacas en pastoreo será mayor que en las vacas estabuladas alimentadas con DTM y variará de acuerdo al momento de la lactancia en conjunto con las condiciones ambientales (disponibilidad y calidad de la pastura, condiciones caminos, estrés térmico, etc). El requerimiento de mantenimiento para vacas de sistemas pastoriles y/o mixtos será mayor que las estimaciones basadas en los sistemas internacionales de alimentación (NRC, 2001). El mayor requerimiento de mantenimiento determinará una menor eficiencia en el uso de la energía metabolizable consumida

1.3.2. Objetivo general

Cuantificar y comparar los componentes del uso y eficiencia de la energía de vacas lecheras manejadas en dos sistemas de alimentación diferentes (pastoreo vs. estabulación) en dos momentos de lactancia

1.3.3. Objetivos específicos

Comparar la partición de energía entre la producción de calor (HP) y la energía retenida (ER) en leche y tejido, así como la eficiencia en el uso de la energía de vacas primíparas en dos estrategias de alimentación (100% DTM vs. Pastoreo + 70% DTM) durante lactancia temprana. (Experimento 1)

Comparar la partición de energía entre la producción de calor (HP) y la energía retenida (ER) leche vs. tejido, así como la eficiencia en el uso de la energía de vacas multíparas en dos estrategias de alimentación (100% DTM vs. Pastoreo + suplemento) en dos momentos de lactancia. (Experimento 2)

1.4. ESTRUCTURA DE LA TESIS

La estructura central de la tesis consiste en dos artículos científicos. El primero se titula ***“Heat production and body composition of primiparous Holstein cows with or without grazing pastures in early lactation”*** y constituye el segundo capítulo de esta tesis. Este artículo, enviado a Livestock Science, tiene como objetivo principal comparar la partición de la energía consumida entre la producción de calor (HP) y la ER (leche y tejido), así como la eficiencia energética de vacas lecheras asignadas a dos estrategias de alimentación diferentes (100% DTM vs. pastoreo + DTM) durante la lactancia temprana. Concluimos que la inclusión del pastoreo (30% de la dieta ofrecida) en la dieta de vacas primíparas paridas en otoño durante la primera etapa de la lactancia, disminuyó la energía secretada en la leche y retenida en tejido, al aumentar la movilización de grasa corporal, en comparación con las vacas alimentadas con 100% DTM. Los resultados indicaron un mejor balance energético de las vacas alimentadas con 100% DTM que no se asoció con un mayor consumo de EM, ya que éste no difirió entre los tratamientos nutricionales, sino con un aumento de alrededor del 10% en los requerimientos de energía de mantenimiento en las vacas en pastoreo, probablemente asociado con una mayor proporción de forraje en la dieta y/o gasto por actividades de pastoreo y caminata.

El segundo artículo científico se titula ***“Efecto del pastoreo en la producción total de calor y eficiencia energética de vacas Holando multíparas en lactancia temprana y media”***, constituye el tercer capítulo y será enviado a la revista Veterinaria (Montevideo). El objetivo de este trabajo fue comparar, en dos momentos de la lactancia (temprana y media), la partición de energía entre la producción de calor (HP) y la energía retenida (ER) de vacas Holstein multíparas paridas en primavera en dos estrategias de alimentación diferentes (pastoreo + suplemento vs. 100% DTM en estabulación). Los resultados indicaron que la inclusión del pastoreo disminuyó la eficiencia en el uso de la EM consumida ajustada por cambios en las reservas corporales asociado a una mayor producción total y residual de calor. Lo que determinó que, los requerimientos energéticos de mantenimiento para vacas en pastoreo se incrementaran aproximadamente un 10% frente a las vacas alimentadas con 100% DTM.

En el cuarto capítulo de esta tesis se presenta una discusión general y conclusiones globales del problema aquí estudiado.

2. HEAT PRODUCTION AND BODY COMPOSITION OF PRIMIPAROUS HOLSTEIN COWS WITH OR WITHOUT GRAZING PASTURES IN EARLY LACTATION

Alejandra Jasinsky^{1*}, Diego A Mattiauda¹, Mateo Ceriani¹, Alberto Casal¹, Mariana Carriquiry^{2*}.

¹Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Estación Dr. Mario A Cassinoni, Universidad de la República. Ruta 3 km 363 CP 60000 Paysandú Uruguay.

²Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Av. Garzón 780 CP 12900, Montevideo Uruguay.

*Corresponding authors: Alejandra Jasinsky. E-mail address: asjasinsky@gmail.com, Mariana Carriquiry. E-mail address: mariana.carriquiry@gmail.com. Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Av. Garzón 780 CP 12900, Montevideo Uruguay.

Phone: +598 23572344

Highlights:

- Total retained energy decreased with pasture grazing in early lactation dairy cows
- Pasture grazing did not affect metabolizable energy intake or heat production
- Adjusted gross energy efficiency decreased in grazing dairy cows
- Pasture grazing increased energy maintenance requirements by approximately 10%

2.1. ABSTRACT

The aim of the study was to compare energy partitioning between heat production (**HP**) and retained (milk and body reserves) energy as well as energy efficiency of dairy cows assigned to different feeding strategies (with or without pasture grazing) during early lactation. At calving, 18 primiparous cows (528 ± 40 kg body weight (**BW**); 3.2 ± 0.2 body condition score (**BCS**); fall calving) were assigned in a randomized block design, during the first 61 days postpartum, to either (**G0**) mixed ration (**PMR**) *ad libitum* (58% forage:42% concentrate) + 4.0 kg DM/d of an energy-protein concentrate in the milking parlor or (**G1**) grazing of alfalfa (6-h grazing in 3 days strips; 20 kg DM/d of pasture allowance) + PMR at 70% of *ad libitum* intake + 4.0 kg DM/d of an energy-protein concentrate in the milking parlor. Diets were composed by 77% PMR and 23% concentrate for G0 cows and 54% PMR, 22% concentrate and 24% pasture for G1 cows. Heat production (**HP**) was measured at 40 ± 3 days postpartum by the O₂ pulse technique and energy retained (**RE**) in milk and body tissue was estimate based on NRC equations for the period between 26 and 54 ± 3 days postpartum. In addition, body composition was determined using the urea dilution technique at -7 and 40 ± 3 days postpartum. Absolute body water, fat and protein mass, and gross RE decreased from -7 to +40 days but the decrease in fat mass and gross RE was 10% greater for G1 than G0 cows. In addition, during this period relative lipid mass and gross energy content decreased only in the G1cows. During the second month of lactation (from 26 to 54 days), the G0 cows tended to produce 6% more milk and had 0.3 units more of BCS than the G1 cows. Both RE in milk and in body tissue were greater for G0 than G1 cows (7% and 3-fold greater, respectively). No differences were found in metabolizable energy (**ME**) intake and HP measured at +40 days between the cow groups. However, residual HP (difference between HP measured and predicted HP calculated from $BW^{0.75}$ and total RE on the assumption of constant efficiency coefficients), expressed as percentage of ME intake, tended to be 10% less for G0 than G1 cows. The adjusted gross energy efficiency (total RE divided by ME intake) tended to be greater for G0 than G1 cows. The results indicated that 100% PMR fed cows were more efficient, secreting more energy in the milk and retaining more energy in the body tissue than grazing cows supplemented with PMR.

This was probably due to an increase of about 10% in maintenance requirements associated to greater forage content in the diet and/or grazing and walking activities in grazing cows.

Keywords: dairy cattle, energy expenditure, nutrition, urea dilution technique

2.2. INTRODUCTION

Pasture-based dairy production systems have gained interest during the last decades due to their economic, environmental and animal-welfare advantages (Dillon, 2006). In the same way, intensification of global dairy production systems has been based on a significant increase in the use of concentrates, forage reserves in the dairy cow diet (Wales et al., 2013). Indeed, in the last decades feeding systems based on total mixed ration (**TMR**) or that supply mixed rations to grazing dairy cows (partial mixed rations; **PMR**) have increased to improve intake and milk production when pastures are limiting (Bargo et al., 2002; Wales et al., 2013).

Mobilization of body reserves occurs in early lactation, as high-producing dairy cows cannot consume enough dry matter (**DM**) to meet their nutrient requirements. Cows often mobilize both, fat and protein body reserves (Gibb et al., 1992). Indeed, mobilization of dairy cows during early lactation has been reported to range between 0.52 and 0.66 kg/d of body fat and between 0.04 and 0.09 kg/d of body protein (Gibb et al., 1992; Tamminga et al., 1997). However, while fat mobilization occurs from parturition up to 60 to 80 days postpartum, protein mobilization starts before parturition until the first 14 to 30 days of lactation (van der Drift et al., 2012). Increased energy intake reduced both, fat and protein mobilization of dairy cows in early lactation (Chilliard et al., 1991) whereas dietary protein, and particularly rumen undegradable protein, increased tissue mobilization if energy intake was restricted but not when an adequate nutrition was provided (Ørskov et al., 1977; Komaragiri et al., 1998). Thus, to maintain an adequate body condition and a milk production above 30 kg/d, high-yield dairy cows in grazing production systems require supplemental energy (Kolver and Muller, 1998; Dillon et al., 2003).

Moreover, production performance of dairy cows under grazing conditions is frequently lower than the estimated by feeding systems based on pasture nutrient and

energy supply (Gruber et al., 2007). Reduced energy density, nutrient imbalances (ie. dietary protein to energy ratio), reduced efficiency of use of metabolizable energy (**ME**) for milk production (ie. due to energy cost of excreting nitrogen) and increased energy requirements for maintenance (ie. cost of rumination and digestion, grazing and walking activity) could explain, among other factors, the reduced efficiency of production of dairy cows in grazing systems (Kolver and Muller, 1998; Agnew and Yan, 2000; Bruinenberg et al., 2002; Dong et al., 2015a, 2015b).

Although production efficiency is essential to maintain profitability and sustainability of dairy grazing production systems, information about energy expenditure under pasture-based conditions is limited. Kaufmann et al. (2011), using the ^{13}C bicarbonate dilution technique, reported in early lactation dairy cows greater energy expenditure for grazing vs. grass-fed cows in the barn, even though DM intake and milk production did not differ between treatments. These latter authors suggested that improved nitrogen utilization or greater body fat mobilization may explain that grazing dairy cows maintained milk production despite of their greater energy requirements. Indeed, Dohme-Meier et al. (2014) using the same technique in three moments of lactation, determined unchanged milk production, lower DM intake and increased energy expenditure in grazing vs. grass-fed cows in the barn associated with greater mobilization of body reserves. In addition, Miron et al. (2008) using the O_2 pulse technique (**O₂P**) showed that, although heat production remained constant, retained energy in milk and tissue decreased as fiber content of TMR increased.

In order to correctly estimate energy demands of cows on pasture and mixed dairy systems, more information related to energy expenditure and partitioning under these production conditions is needed. The objective of the current study was to compare energy partitioning between heat production (**HP**) and retained energy (**RE**) of primiparous Holstein cows fed different strategies in early lactation (mixed ration vs. grazing plus mixed ration). We hypothesized the decrease of the mixed ration offer to 70% *ad libitum* intake as pasture grazing is included in the diet would allow a milk production similar to *ad libitum* mixed ration fed cows at expenses of greater mobilization of body reserves due to increased energy requirements for maintenance.

2.3. MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out at the Experimental Station Mario A. Cassinoni (Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay) from February to May 2015. The average temperature for this period was 21.0 ± 5.9 °C, the rainfall was 67.5 ± 39.0 mm and the ITH was 66.8 ± 8.2 . Animal procedures were approved by the Animal Experimentation Committee of Universidad de la República (Expe # 021130-001914-15).

2.3.1 Experimental design, animals, and treatments

Primiparous Holstein cows ($n = 18$) were grouped by calving date (fall calving; average calving date: 04/18/2015 $\pm$ 11 days), blocked within group according to body weight (**BW**; 528 ± 40 kg) and body condition score (**BCS**; 3.2 ± 0.2 , scale 1 (skinny) to 5 (fat); Edmonson et al., 1989) and used in a randomized complete block design with two nutritional treatments from calving to 61 days postpartum: (**G0**) control cows fed a mixed ration (**PMR**) *ad libitum* in individual stalls + 4.0 kg DM/d of an energy-protein concentrate in the milking parlor or (**G1**) cows grazing alfalfa and receiving PMR (offered at 70% of *ad libitum* intake) in individual stalls + 4.0 kg DM/d of an energy-protein concentrate in the milking parlor. During the pre-calving period, from -42 to -21 ± 11 days relative to calving, cows were managed as a single group and grazed on good-quality pastures to maintain BCS. From -21 ± 11 days until calving, cows were managed in individual stalls (10 x 4 meters) with water *ad libitum* and shade available and were offered 12.3 kg DM/d of a mixed diet based on corn silage (41.4%), malt sprout (18.4%), pre-calving commercial ration (18.2%; based on grain –soybean meal) and moha (*Setaria italica*) hay (22%).

During the postpartum period, cows were assigned to experimental diets. The G0 cows were offered, in individual stalls (0.8 km from the milking parlor), PMR *ad libitum* (10% feed refusal) once a day in the morning. The PMR had a forage to concentrate ratio of 58/42 (DM basis) and was composed by corn silage (37.7%), alfalfa haylage (20.1%), sorghum grain (33.4%), corn grain (1.8%), wheat grain (1.2%), soybean expeller (3.6%), sunflower expeller (1.8%), and a salt, vitamin and mineral mix (0.4%) with a chemical composition of 403 g/kg of DM, 93 g/kg DM of

crude protein (**CP**), 326 g/kg DM of neutral detergent fiber (**NDF**), 197 g/kg DM of acid detergent fiber (**ADF**), 40 g/kg DM of ether extract (**EE**), and 12.6 MJ/kg DM of ME. The PMR plus concentrate diet was formulated according to NRC (2001) for a milk production target of 30 kg/d. The G1 cows had direct access (1.1 km from the milking parlor) to a second-year alfalfa (*Medicago sativa*) pasture in one morning grazing session (6 h, 7:30 to 13:30 h) and received once a day, after the afternoon milking, 70% of the *ad libitum* PMR intake under the same conditions as G0 cows. Grazing was in 3 days rotational system with a mean herbage allowance of 20 kg DM/cow/d (4 cm above ground level) with 227 g/kg of DM, 160 g/kg DM of CP, 415 g/kg DM of NDF, 297 g/kg DM of ADF, 26 g/kg DM of EE, and 10.5 MJ/kg DM of ME. Herbage mass was determined monthly using the double sampling technique (Haydock and Shaw., 1975), and adjusted weekly using the records of the Rising Plate Meter (Mattiuda et al., 2013). The concentrate that consumed all cows (G0 and G1) in the milking parlor divided in the two milking shifts (4.0 kg DM/d) was composed (DM basis) by corn grain (20.3%), wheat grain (13.6%), soybean expeller (40.7%), sunflower expeller (20.3%), a salt, vitamin and mineral mix (5%), with 898 g/kg of DM, 196 g/kg DM of CP, 285 g/kg DM of NDF, 110 g/kg DM of ADF, 27 g/kg of DM of EE and 12.4 MJ/kg DM of ME).

The proportions of PMR, concentrate and pasture in the diet (DM basis) calculated for each treatment after DM intake of PMR and concentrate (based on difference between feed offered and refused) and pasture (based on NRC requirements) were determined (Ceriani et al., 2018), indicated that diets were composed 77% PMR and 23% concentrate for G0 cows and 54% PMR, 22% concentrate and 24% pasture for G1 cows (Table 1). Cows were milked twice a day (05:00 and 16:00h), milk yield was recorded daily, and milk samples were collected once a week (composite of am and pm milking samples) from calving to +61 days postpartum to determine protein, fat and lactose. Cow BCS and BW were recorded every 14 days from -28 to +61 days relative to calving.

Table 1. Estimated nutrient composition of diets according to feeding strategy in early lactation

Component ²	Treatments ¹	
	G0	G1
Dry matter, g/kg of feed	517	488
Crude protein, g/kg DM	117	132
Neutral detergent fiber, g/kg DM	317	339
Acid detergent fiber, g/kg DM	177	202
Ether extract, g/kg DM	37	34
NIDN ³ , g/kg DM	24	27
Ash, g/kg DM	56	71
Metabolizable energy (MJ/kg DM) ⁴	12.1	11.8
Net energy of lactation (MJ/ kg DM) ⁴	8.0	7.7

¹Feeding strategies from calving (day 0) to 61 days postpartum were control cows fed PMR *ad libitum* (G0, n = 9) or cows grazing alfalfa and supplemented with PMR offered at 70% of *ad libitum* intake (G1, n = 9). ²Nutrient composition calculated from PMR, concentrate and pasture dry matter intake estimated by Ceriani et al. (2018) and feed sample chemical analyses. ³NDIN = Neutral detergent insoluble nitrogen. ⁴Metabolizable energy and net energy of lactation were estimated according to NRC (2001)

2.3.1.1. Urea dilution technique

At -7 and +40 ± 3 days relative to calving, body composition was determined using the urea dilution technique (Kock and Preston, 1979). Briefly, cows were infused with 0.65 mL/kg BW of a diluted urea solution (20% urea in 0.9% physiological saline, wt/vol) by jugular venipuncture over a period of 3 min through a polyethylene catheter (1.6 mm × 600 mm). Blood samples were collected of the coccygeal vein in heparin tubes (BD Vacutainer tubes; Becton Dickinson, NJ, USA) before and 12 min after the mean infusion time. Blood samples were centrifuged at 2000 × *g* for 15 min and plasma was frozen at -20°C to determine plasma urea concentrations. Concentrations of

plasma urea-N were determined by a colorimetric assay using a commercial kit (Laboratorios Wiener, Rosario, Argentina) on Vitalab Selectra 2 autoanalyser (Vital Scientific, Dieren, The Netherlands). The intra-assay coefficient of variation did not exceed 10%.

Urea space volume (kg) was calculated by dividing the amount of urea (mmol of urea) infused by the difference in concentrations of plasma urea-nitrogen between blood samples (before and after infusion; mmol urea-N/L) while the urea space (% BW) was calculated by dividing the urea space volume by BW. Urea space was used along with BW, BCS, and milk production to estimate relative body water, protein and fat by regression equations (Agnew et al., 2005).

2.3.1.2. Heat production

Heat production was measured using the O₂P technique (Brosh, 2007) at 40 ± 3 days postpartum. This method is based on the measurement of heart rate (**HR**) and O₂ consumption individually in each cow. The HR was measured continuously for 4 days using a heart monitor (Polar RS400; Polar Electro Oy, Kempele, Finland) with a HR transmitter Polar WearLink® (Polar Electro Oy), and a data logger programmed to record HR at 1-min intervals. The devices were fasted by means of a specifically designed belt to the thorax behind the forelegs. To calculate the O₂P (mL O₂/BW^{0.75} per beat), simultaneous short-term measurements (10 to 15 min) of HR at 10 sec intervals and oxygen consumption (mL O₂/kg BW^{0.75} per h) were measured in each cow using an open respiratory mask circuit. Oxygen consumption measurements were performed 1 day before or 1 day after the HR measurement period between 06:00 and 11:00 h. Nitrogen recovery testing was performed to confirm the entire system calibration and was 101%.

The daily average HP and the HP along the day were quantified from the individual data of HR, the O₂P and the constant of 20.47 kJ/L of O₂ consumed (Nicol and Young, 1990) according to the following equations (Brosh, 2007): Daily HP (MJ/cow per d) = specific HP (kJ /kg BW^{0.75} per d) x BW^{0.75} (kg) / 1000; where specific HP (kJ /kg BW^{0.75} per d) = HR (beat/min) x O₂P (mL/beat per kg BW^{0.75}) x (20.47 kJ/L O₂ consumption /1000 mL/L) x 60 min/h x 24 h/d .

2.3.1.3. Calculations and statistical analyses

Data from -14 to 14 days around body composition and HP measurements were used for energy balance calculations (from 26 to 54 ± 3 days postpartum). Milk energy output (**RE-milk**) was calculated from milk yield and its composition, using the coefficients of 38.8, 22.8, and 16.5 MJ/kg of fat, protein, and lactose, respectively. Retained energy in body reserves (**RE-tissue**) was estimated based on body composition estimated by urea dilution using the coefficients of 39.3 and 23.2 MJ/kg of fat and protein, respectively or based changes of BW and BCS (Fox et al., 1999). Total RE was calculated as the sum of RE-milk and RE-tissue. Metabolizable energy intake was estimated as the sum of HP + total RE and gross energy efficiency was calculated as RE-milk divided by ME intake and adjusted energy gross efficiency as total RE divided by ME intake. Predicted HP was calculated from BW and total RE using the coefficients of $0.33 \text{ MJ/kg BW}^{0.75}$, 0.62 and 0.64 for maintenance requirement, km and kl, respectively (NRC 2001).

Data were analyzed using the SAS System program (SAS® University Edition, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Univariate analyses were performed on all variables to identify outliers and inconsistencies and to verify normality of residuals. Milk yield change of BCS and BW, and energy balance components and efficiency were analyzed using the MIXED procedure with a mixed model that included nutritional treatment as a fixed effect and block as a random effect. Body composition data were analyzed as repeated measures using the MIXED procedure, the unrestricted covariance structure (UN) and the Kenward-Rogers procedure to adjust the denominator degrees of freedom. The model included day postpartum and nutritional treatment within day as fixed effects and block as a random effect.

The HR and HP data along the day were analyzed as repeated measures using the MIXED procedure with the first-order autoregressive (AR(1)) covariance structure the Kenward-Rogers procedure to adjust the denominator degrees of freedom. The model included nutritional treatment, hour and their interaction as fixed effects and block and cow as random effects. For all analyses calving date was used as a covariate if $P < 0.20$. Tukey–Kramer tests were conducted to analyze mean differences ($\alpha = 0.05$). For all results, means were considered to differ when $P \leq 0.05$, and trends were

identified when $0.05 < P \leq 0.10$. Data are presented as least square means $\pm$ pooled standard errors.

2.4. RESULTS

2.4.1. Changes in body composition during early lactation

Both cow groups lose empty BW from -7 to 40 days of lactation, however, at +40 days, empty BW was greater for G0 than G1 cows (Table 2). Absolute body water, fat and protein mass, as well as gross retained energy, estimated by the urea dilution technique, decreased ($P \leq 0.05$) from pre to postpartum. However, the decrease in fat mass and gross retained energy was greater ($P \leq 0.04$) for G1 than G0 cows. Relative water and protein mass remained unchanged from pre to postpartum and during the postpartum were not affected by the nutritional treatment. In contrast, relative lipid mass and gross energy content decreased ($P \leq 0.01$) only in the G1 cows from -7 to +40 days. This determined that at +40 days, the relative fat mass and gross energy content were greater ($P= 0.05$) for G0 than G1 cows.

Table 2. Changes in empty body weight (EBW), body condition score (BCS) and body composition from pre to postpartum of dairy cows assigned to different feeding strategies in early lactation

Days relative to calving	-7	+40			P-value ¹	
Treatment ²		G0	G1	SE	Days	T(Days)
EBW (kg)	486a	462ab	441b	9.8	<0.01	0.17
BCS (units)	3.3a	2.9b	2.6c	0.06	0.01	<0.01
<i>Absolute composition</i>						
Water, kg	247a	237ab	232b	4.9	0.05	0.60
Lipids, kg	75a	70a	62b	2.3	0.01	0.03
Protein, kg	70a	67ab	66b	1.6	0.05	0.61
Gross energy, MJ	4831a	4582a	4167b	124	0.01	0.04
<i>Relative composition</i>						
Water, g/kg EBW	510	511	527	6.2	0.19	0.11
Lipids, g/kg EBW	156a	151a	142b	2.4	<0.01	0.02
Protein, g/kg EBW	145	145	149	1.9	0.47	0.16
Gross energy, MJ/kg EBW	10.0a	9.8a	9.4b	0.09	0.01	0.02

¹T(Days) = treatment within days. ²Feeding strategies from calving (day 0) to 60 days postpartum were control cows fed PMR *ad libitum* (G0, n = 9) or cows grazing alfalfa and supplemented with PMR offered at 70% of *ad libitum* intake (G1, n = 9). 2 EBW = empty body weight

2.4.2. Energy partitioning during the second month of lactation

Average milk production from +26 to +54 days postpartum (second month of lactation) tended to be 1.8 kg greater ($P = 0.09$) for G0 than G1 cows, while percentages of milk fat, protein and lactose were not affected by nutritional treatments (Table 3). Cow BW did not differ between nutritional treatments while BCS was greater ($P = 0.01$) for G0 than G1 cows. The G0 cows secreted more energy in milk ($P = 0.04$) and retained more energy in body tissue ($P < 0.02$) than did G1 cows. Thus, total RE was greater ($P < 0.01$) for G0 than G1 cows. Retained energy in body tissue

at +40 days postpartum calculated based on BW and BCS and estimated by the urea dilution technique were high and positively correlated ($r = 0.89$, $P = 0.002$).

The whole-animal HP (MJ/d) at +40 days postpartum did not differ between nutritional treatments (Table 3). However, the predicted HP, which was calculated from $BW^{0.75}$ and total RE on the assumption of constant efficiency coefficients, was greater ($P = 0.02$) for G0 than G1 cows, determining that residual HP tended to be lower ($P = 0.06$) for the former than latter ones. The calculated ME intake, which was the sum of HP and total RE was not different between G0 and G1 cows. Therefore, although gross energy efficiency did not differ between nutritional treatments, adjusted gross energy efficiency tended to be greater ($P = 0.08$) for G0 than G1 cows.

Table 3. Milk performance and energy partitioning of dairy cows assigned to different feeding strategies in early lactation

Variable	Treatments ¹		SE	P-value
	G0	G1		
Milk yield (kg/d) ²	28.1	26.3	0.50	0.09
<i>Milk composition (%)</i>				
Fat	4.09	4.2	0.1	0.40
Protein	3.1	3.2	0.05	0.60
Lactose	4.9	4.9	0.09	0.50
Body weight (kg)	506	494	14.0	0.60
Body condition score (units)	2.9	2.6	0.06	0.01
<i>Energy partitioning (MJ/d)^{2,3}</i>				
Metabolizable energy intake	182.2	179.7	4.8	0.70
Retained energy in milk	90.2	83.6	1.7	0.04
Retained energy in body tissue	2.8	0.9	0.5	0.02
Total retained energy	92.7	84.8	1.7	<0.01
Measured heat production	90.7	94.4	3.8	0.50
Predicted heat production	110.7	104.1	1.9	0.02
Residual heat production	-19.6	-7.5	3.9	0.06
Gross energy efficiency	0.49	0.47	0.01	0.30
Adjusted gross energy efficiency	0.51	0.47	0.01	0.08

¹Feeding strategies from calving (day 0) to 60 days postpartum were control cows fed PMR *ad libitum* (G0, n = 9) or cows grazing alfalfa and supplemented with PMR offered at 70% of *ad libitum* intake (G1, n = 9). ²Data referred to the period +26 to +54 days postpartum

³Metabolizable energy intake = Total RE + HP; Measured heat production = heart rate (beats/min) x O₂P (L of O₂/beat per kg BW^{0.75}) x (20.47 kJ/1000) x 60 x 24; Predicted heat production calculated from metabolic body weight (BW^{0.75}) and total retained energy and NRC (2001) efficiency coefficients for production and maintenance; Residual heat production = Measured heat production - Predicted heat production; Gross energy efficiency = NEL/ME intake; Adjusted gross energy efficiency= Total RE/ ME intake

Nutritional treatments did not affect HR or O₂P (Table 4). When expressed in terms of metabolic BW (kJ/kgBW^{0.75} per day), RE-milk did not differ between nutritional treatments while total RE tended ($P = 0.09$) to be greater for G0 than G1 cows. Also, the HP measured per unit of metabolic weight was not different between nutritional treatments, while the predicted HP tended to be greater ($P = 0.09$) and the residual HP ($P = 0.07$) tended to be lower for G0 than G1 cows. Both, HR (beat/min) and HP (kJ/kg BW^{0.75} per day) differed along the day ($P < 0.01$) and were affected by the interaction between nutritional treatment and hour ($P < 0.04$). The HR and HP reached minimum values early in the morning, increased throughout the day and decreased markedly after 19:30 h (evening). However, minimum values were reached earlier and maximum values later for G1 than G0 cows. In addition, HR was greater between 3:30 and 5:30 h and at 9:30 h for G1 than G0 cows (Figure 1).

Table 4. Heart rate, oxygen pulse and energy partitioning values per metabolic body weight ($BW^{0.75}$) of dairy cows assigned to different feeding strategies in early lactation

Variable	Treatments ¹			
	G0	G1	SE	P-value
Heart rate (beat/min)	86.3	90.0	2.3	0.26
O ₂ pulse (mL/beat per kg $BW^{0.75}$)	0.336	0.340	0.015	0.88
<i>Energy partitioning (kJ/kg$BW^{0.75}$ per day)^{2,3}</i>				
Retained energy in milk	1720	1711	50.2	0.89
Retained energy in body tissue	826	802	20.0	0.40
Total retained energy	863	814	19.0	0.09
Measured heat production	858	896	40.6	0.51
Predicted heat production	1026	998	10.4	0.09
Residual heat production	-167	-74	33.7	0.07

¹Feeding strategies from calving (day 0) to 60 days postpartum were control cows fed PMR *ad libitum* (G0, n = 9) or cows grazing alfalfa and supplemented with PMR offered at 70% of *ad libitum* intake (G1, n = 9). ²Data referred to the period +26 to +54 days postpartum

³Metabolizable energy intake = Total RE + HP; Measured heat production = heart rate (beats/min) x O₂P (L of O₂/beat per kg $BW^{0.75}$) x (20.47 kJ/1000) x 60 x 24; Predicted heat production calculated from metabolic body weight ($BW^{0.75}$) and total retained energy and NRC (2001) efficiency coefficients for production and maintenance; Residual heat production = Measured heat production - Predicted heat production

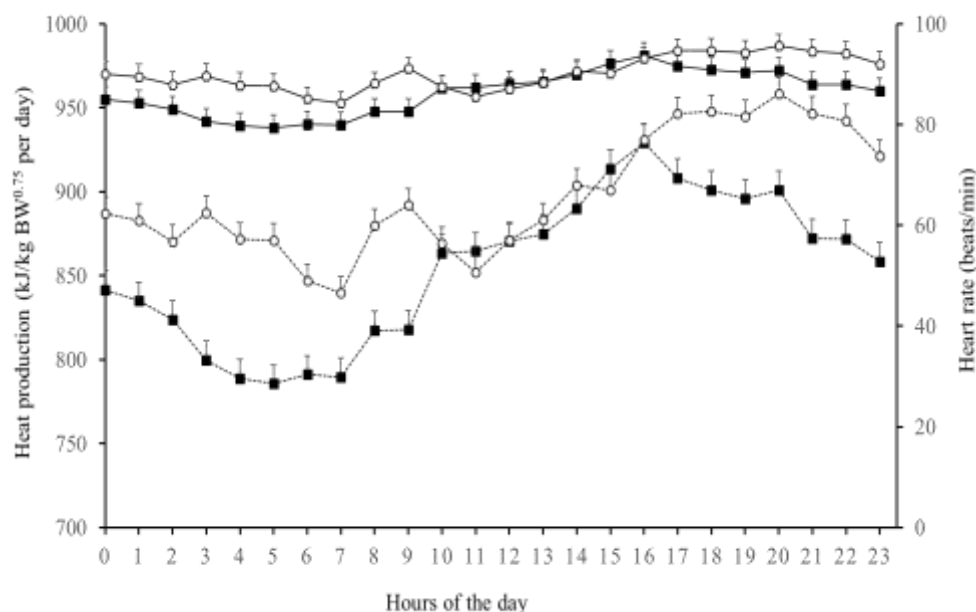


Figure 1. Diurnal pattern of heat production ($\text{kJ/kgBW}^{0.75}$ per day; dashed lines) and heart rate (beats/min; solid lines) of dairy cows fed TMR *ad libitum* (G0, $n = 9$; black squares) or cows grazing alfalfa and supplemented with TMR offered at 70% of *ad libitum* intake (G1, $n = 9$; open circles). The vertical bars above the symbols represent the standard error for the group by hour interaction.

2.5. DISCUSSION

2.5.1. Changes in body composition during early lactation

In agreement with the loss of BCS, body composition determined by means of the urea dilution technique, showed cows mobilized both, body protein and fat mass in early lactation; being mobilization of protein less extensive than fat (van der Drift et al., 2012). Mobilization of body protein mass was similar among treatments (5%; 0.072 kg/d) and was in line with previous reports in early lactation cows using directed slaughter measurements (0.044 kg/d; (Gibb et al, 1992) or mathematical calculations (0.050 to 0.123 kg/d; Chilliard et al., 1991; Tamminga et al., 1997). Moreover, in the present study, protein mobilization was in relation to empty BW loss as relative body protein mass did not change from pre to postpartum. Mobilization of protein reserves is regulated by hormonal changes (ie, reduced plasma insulin) and changed more

drastically with limited energy intake than with changes in protein supply (Andrew et al., 1994; Komaragiri and Erdman, 1997; van der Drift et al., 2012).

In contrast, mobilization of body fat was 10% greater for G1 than G0 cows (7 and 18%, respectively) as G1 cows mobilized predominantly body lipids as both, absolute and relative fat mass decreased from pre to postpartum. This was reflected in decreased both, body retained energy as well as energy content per kg of empty BW. The greater fat mobilization of G1 than G0 cows indicated a more severe negative energy balance of early lactation in the former ones. Indeed, previous research (Meikle et al., 2013; Astessiano et al., 2015) showed greater plasma concentrations of non-esterified fatty acids or β -hydroxybutyric acid in grazing than TMR-fed cows, indicative of fat mobilization in the former ones. Nevertheless, fat mobilization for both treatments in our study (0.107 and 0.277 kg/d for G0 and G1 cows from -7 to 40 days of lactation) was less than those previously reported (0.520 to 0.668 kg/d; Chilliard et al., 1991; Gibb et al., 1992; Andrew et al., 1994; Tamminga et al., 1997). Differences in parity may explain differences between previous studies performed in multiparous cows (Chilliard et al., 1991; Gibb et al., 1992; Andrew et al., 1994; Tamminga et al., 1997) and our results in primiparous cows as fat tissue is reduced both, in absolute and relative terms) in the latter ones (Belyea et al., 1977). In addition, the low percentage of protein in the diets in the present study (124 g/kg DM) may have limited milk yield and milk protein production (Law et al., 2009) reducing fat mobilization.

2.5.2 Energy partitioning during the second month of lactation

The inclusion of pasture in the diet (G1 cows), by direct grazing, decreased milk yield and RE-milk in early lactation by almost 10% when compared to G0 cows. This was consistent with previous studies, that reported milk yield increased 5 to 20% when 100% TMR-fed cows were compared with grazing (30 to 60% of pasture inclusion) cows supplemented with TMR (Bargo et al., 2002; Vibart et al., 2008; Meikle et al., 2013; Fajardo et al., 2015). In addition, although changes in milk composition were variable, similar increases (5 to 19%) were observed in RE-milk when TMR-fed were compared to PMR-supplemented grazing cows (Bargo et al.,

2002; Vibart et al., 2008; Meikle et al., 2013; Fajardo et al., 2015). In contrast, Kennedy et al. (2005) did not report differences in daily milk yield or DM intake between spring-calving cows grazing high quality pastures (82% of pasture in the diet) when compared to cows fed TMR. Nevertheless, in the latter study both, RE-milk (+26%) and cow BW were greater for TMR than grazing cows.

Although we did not find differences in cow BW between nutritional treatments, in agreement with previous authors (Meikle et al., 2013; Fajardo et al., 2015) average BCS was 0.3 units greater for G0 than G1 cows. Washburn et al. (2002) reported BCS between 0.3 and 0.6 units lower for cows on pasture-based than on TMR-based feeding systems throughout lactation. Similarly, Kolver and Muller (1998) in a short-term study (4 wk) reported that high-producing dairy cows, that consumed only pasture, lose 0.5 units of BCS more when compared to cows that consumed a TMR-based diet which maintained BCS. Thus, in the present study the greater total RE for G0 than G1 cows indicate a better energy balance which impacted also in an improved reproductive performance (Astessiano et al., 2018).

However, cow ME intake (total RE + HP) was not affected by nutritional treatments as neither DM intake (Ceriani et al., 2018) nor dietary ME concentration differed between cow groups. In agreement with the high correlation ($r = 0.87$) between ME intake and HP (Brosh, 2007), HP did not differ between G0 and G1 cows as both, HR and O₂P were similar between groups. Previous studies in dairy cows fed TMR or pasture, using the O₂P (Aharoni et al., 2005; Aharoni et al., 2006; Miron et al., 2008) or other techniques (Dohme-Meier et al., 2014; Dong et al., 2015a, 2015b) to measure HP, reported values of HP, expressed as MJ/cow per day or MJ/kg BW^{0.75}, 30% greater than those estimated in this study. However, our HP estimations were in line with the ones predicted by NRC (2001) as well as the ones reported for low-producing cows (Aharoni et al., 2006) or for cows fed high-forage diets (Dong et al., 2015b). In the present work, measured HR were in the range of the HR reported in dairy cows in previous studies that used the O₂P technique (Aharoni et al. 2005; Aharoni et al., 2006; Miron et al., 2008). However, O₂P values were less than the expected ones and were closer to the O₂P reported in beef cows (Brosh, 2007). Decreased O₂P values would indicate a lower metabolic rate in our cows which would

probably reflect, among other factors, differences in parity (primiparous vs. multiparous), milk production (~10 kg/d lower in the present study), feed intake and diet quality between this and previous studies.

Total HP is the sum of HP for maintenance (**HPm**) and HP for production (**HPp**) (Miron et al., 2008). As mentioned above, total HP did not differ between treatments but total RE was 8% greater for G0 than G1 cows. Thus, it could be expected that HPp increased while HPm decreased for G0 than G1 cows. The greater adjusted gross energy efficiency estimated for G0 than G1 cows would indicate that the latter ones would require 0.16 additional units of energy intake to retain the same amount of energy in milk and tissue. Although, daily RE-milk was greater for G0 than G1 cows, we did not detect differences between treatments when milk energy output was expressed relative to their $BW^{0.75}$. However, RE-tissue relative to $BW^{0.75}$ was 2-fold greater in G0 than G1 cows, which would indicate that the latter cows would partition a greater portion of the ME intake to maintenance and a lower portion was directed to maintain or replenish body reserves as milk production would be prioritized in early lactation cows.

Differences between cow groups in partition of consumed ME between maintenance and production were analyzed with residual HP calculation, which was based on the differences between measured HP and predicted HP from BW and total RE using the NRC (2001) coefficients for maintenance, km and kl, without considering energy requirement for activity (walking + grazing). In the present study, residual HP was negative for both groups of cows probably as HP was measure in early lactation, when feed intake is restricted and gastrointestinal viscera and liver are still growing in mass and activity (Baldwin et al., 2004) determining reduced maintenance requirements. Indeed, Aharoni et al. (2006) reported that maintenance energy requirement varied along lactation being minimum in early lactation and Ellis et al. (2006) reported an increase of 20% in maintenance requirements from the early to mid-lactation. Nevertheless, residual HP difference between G0 and G1 cows were about 10% of the estimated ME intake. These results could be related to grazing and walking activity as well as percentage of forage in the diet (45 vs. 55% for G0 and G1, respectively). Indeed, previous research using the ^{13}C and ^{14}C dilution techniques in

dairy cows (Dohme-Meier et al., 2014) and steers (Di Marco and Aello, 2001) grazing cultivated pastures reported that energy expenditure due to grazing and walking increased between 8 to 30% above maintenance requirement depending on, among other factors, forage mass and quality, bite rate and topography. In addition, Dong et al. (2015a, 2015b) summarizing information from 32 experiments (more than 900 cows) in calorimetric chambers, determined that the maintenance requirement varied with the proportion of forage in the diet, it was 10% more when the diets included more than 60% of forage in comparison with those with less than 30%.

Although we observed that the HP per unit of $BW^{0.75}$ did not differ between treatments, it did vary along the day, associated with the daily routine of each treatment group. Previous authors (Brosh et al., 1998; Aharoni et al., 2005; Brosh et al., 2006) reported that the daily patterns of HP of confined TMR-fed cows depend mainly of the time of feed supply and consumption while for grazing cows this pattern would also depend on other activities. Indeed, the daytime pattern of HP in the present study showed that minimum values of HP were reached just before the morning milking and it increased immediately after they started to consume first the concentrate in the milking parlor and later pasture or mixed ration. However, this rise was earlier in G1 than not G0 cows as the former ones access the pasture and started to graze as soon as they arrive to the paddock which occurred before PMR was offered to the latter ones (Ceriani et al., 2018). After the first grazing session, HP decreased for G1 cows to increase again parallel to HP of G0 cows, reflecting mainly DM intake and nutrient metabolism. However, although after the afternoon milking, when both cow groups were in confinement, HP continued to increase but it did it until later for G1 than G0 cows. This was probably associated with the PMR intake in G1 cows as it was the moment of the day they had access to it. The elevated HP in late afternoon - early night hours in G1 cows would suggest that they consumed a high proportion of the PMR offered (70% of *ad-libitum* mixed ration intake) during this short period of time (16 to 20 h).

2.6. CONCLUSION

Although the inclusion of pasture in the early-lactation fall-calving cow diet could have a positive effect on farm profitability, in the present study, pasture grazing (30% of the diet) in primiparous cows decreased energy secreted in milk and retained in tissue, by increasing body fat mobilization, when compared to mixed ration fed cows. These results indicated a decreased energy balance of cows with pasture grazing in the diet which was not associated with a reduced ME intake as it did not differ between nutritional treatments, but with about a 10% increase in energy maintenance requirements, probably associated with greater dietary forage content and/or grazing and walking activities.

2.7. ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank fellow undergraduate and graduate students for assistance with animal management and sampling, and the staff of the Experimental Station Dr. Mario A. Cassinoni for animal care and assistance throughout the work. Special thanks to Dr. A. Brosh for his help with the O₂-pulse technique and to Dr. Martín Aguerre for his thoroughly review of this manuscript. This study was supported by the research project ANII_FSA_1_2013_1_12612 awarded to M. Carriquiry and D. Mattiauda and for the graduate scholarship (POS_NAC_2015_1_109827) awarded to A. Jasinsky, both funded by the Agencia Nacional de Investigación e Innovación (Uruguay).

Conflict of interest

None of the authors have any conflict of interest to declare.

2.8. REFERENCES

- Agnew, R.E., Yan, T., 2000. Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Lives. Prod. Sci.* 66, 197–215. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00161-5](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00161-5).
- Agnew, R.E., Yan, T., McCaughey, W.J., McEvoy, J.D., Patterson, D.C., Porter, M.G., Steen, R.W.J., 2005. Relationships between urea dilution measurements and body weight and composition of lactating dairy cows. *J.*

Dairy Sci. 88, 2476–2486. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72925-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72925-8)

Aharoni, Y., Brosh, A., Harari, Y., 2005. Night feeding for high-yielding dairy cows in hot weather: Effects on intake, milk yield and energy expenditure. *Livest. Prod. Sci.* 92, 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.08.013>

Aharoni, Y., Brosh, A., Kafchuk, E., 2006. The efficiency of utilization of metabolizable energy for milk production: a comparison of Holstein with F1 Montbeliarde x Holstein cows. *Sci. Then.* 82, 101–109. <https://doi.org/10.1079/ASC200515>

Andrew, S.M., Waldo, D.R., Erdman, R.A., 1994. Direct Analysis of Body Composition of Dairy Cows at Three Physiological Stages. *J. Dairy Sci.* 77, 3022–3033. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77244-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77244-1)

Astessiano, A.L., Meikle, A., Fajardo, M., Gil, J., Mattiauda, D.A., Chilibraste, P., Carriquiry, M., 2015. Metabolic and endocrine profiles and hepatic gene expression of Holstein cows fed total mixed ration or pasture with different grazing strategies during early lactation. *Acta Vet. Scand.* 57. <https://doi.org/10.1186/s13028-015-0163-6>

Astessiano, A.L., Peñaricano, F., Laporta, J., Meikle, A., Carriquiry, M., 2018. Effect of feeding strategy on endometrial gene expression of dairy cows during early luteal phase. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-871-1>. In *Book of Abstracts of the 69th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science* (pp.369). Wageningen, NL:Wageningen Academic Publishers.

Baldwin, R.L., McLeod, K.R., Capuco, A.V., 2004. Visceral tissue growth and proliferation during the bovine lactation cycle. *J. Dairy. Sci.* 87, 2977–2986.

Bargo, F., Muller, L.D., Delahoy, J.E., Cassidy, T.W., 2002. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 85, 2948–2963. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74381-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74381-6)

- Belyea, R. L., Frost, G. R., Martz, F. A., Clark, J. L., & Forkner, L. G. 1978. Body composition of dairy cattle by potassium-40 liquid scintillation detection. *J. Dairy Sci.* 61, 206-211.
- Brosh, A., Aharoni, Y., Degen, A. A., Wright, D., & Young, B. A. 1998. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. *J. Anim. Sci.*, 76, 2671-2677.
- Brosh, A., Henkin, Z., Ungar, E.D., Dolev, A., Orlov, A., Yehuda, Y., Aharoni, Y., 2006. Energy cost of cows' grazing activity: Use of the heart rate method and the Global Positioning System for direct field estimation. *J. Anim. Sci.* 84, 1951–1967. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-315>
- Brosh, A., 2007. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. *J. Anim. Sci.* 85, 1213–1227. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-298>
- Bruinenberg, M.H., Van Der Honing, Y., Agnew, R.E., Yan, T., Van Vuuren, A.M., Valk, H., 2002. Energy metabolism of dairy cows fed on grass. *Livest. Prod. Sci.* 75, 117–128. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00306-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00306-2)
- Ceriani, M., Jasinsky A., Carriquiry M., Mattiauda, D.A., 2018. Milk production, intake and ingestive behavior of Holstein cow fed total mixed ration or partial mixed ration in early lactation. *J. Dairy Sci.* 101, Suppl. 2, 218.
- Chilliard, Y., Cissé, M., Lefaivre, R., Rémond, B., 1991. Body composition of dairy cows according to lactation stage, somatotropin treatment, and concentrate supplementation. *J. Dairy Sci.* 74, 3103–3116. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78496-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78496-8)
- Dillon, P., Buckley, F., O'Connor, P., Hegarty, D., Rath, M., 2003. A comparison of different dairy cow breeds on a seasonal grass-based system of milk production. 1. Milk production, live weight, body condition score and DM intake. *Livest. Prod. Sci.* 83, 21–33. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00041-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00041-1)
- Dillon, P., 2006. Achieving high dry-matter intake from pasture with grazing dairy cows. In: A. Elgersma, J. Dijkstra, S. Tamminga (Eds.). *Fresh Herbage for*

- Dairy Cattle, The Key to a Sustainable Food Chain. Springer, Dordrecht, the Netherlands (2006), pp. 1-26
- Di Marco, O.N., Aello, M.S., 2001. Energy expenditure due to forage intake and walking of grazing cattle (online). Brazilian Arquivo de Medicina Veterinária e Zootecnia, 53(1): 105 - 110. <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352001000100017>
- Dohme-Meier, F., Kaufmann, L.D., Görs, S., Junghans, P., Metges, C.C., van Dorland, H.A., Bruckmaier, R.M., Münger, A., 2014. Comparison of energy expenditure, eating pattern and physical activity of grazing and zero-grazing dairy cows at different time points during lactation. Livest. Sci. 162, 86–96. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2014.01.006>
- Dong, L.F., Ferris, C.P., McDowell, D.A., Yan, T., 2015a. Effects of diet forage proportion on maintenance energy requirement and the efficiency of metabolizable energy use for lactation by lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 98, 8846–8855. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9465>
- Dong, L.F., Yan, T., Ferris, C.P., McDowell, D.A., 2015b. Comparison of maintenance energy requirement and energetic efficiency between lactating Holstein-Friesian and other groups of dairy cows. J. Dairy Sci. 98, 1136–1144. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8629>
- Edmonson, A.J., Lean, I.J., Weaver, L.D., Farver, T., Webster, G., 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. J. Dairy Sci. 72, 68–78. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(89\)79081-0](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(89)79081-0)
- Ellis, J.L., Qiao, F., Cant, J.P., 2006. Evaluation of net energy expenditures of dairy cows according to body weight changes over a full lactation. J. Dairy Sci. 89, 1546–1557. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72222-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72222-6)
- Fajardo, M., Mattiauda, D.A., Motta, G., Genro, T.C., Meikle, A., Carriquiry, M., Chilibraste, P., 2015. Use of mixed rations with different access time to pastureland on productive responses of early lactation Holstein cows. Livest. Sci. 181, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.023>

- Fox, D.G., Van Amburgh, M.E., Tylutki, T.P., 1999. Predicting requirements for growth, maturity, and body reserves in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 82, 1968–1977. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(99\)75433-0](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(99)75433-0)
- Gibb, M.J., Ivings, W.E., Dhanoa, M.S., Sutton, J.D., 1992. Changes in body components of autumn-calving Holstein-Friesian cows over the first 29 weeks of lactation. *Anim. Prod.* 55, 339–360. <https://doi.org/10.1017/S0003356100021036>
- Gruber, L., Susenbeth, A., Schwarz, F. J., Fischer, B., Spiekers, H., Steingass, H., & Obermaier, A. 2007. Evaluation of the NEL system and estimation of energy requirements for dairy cows on the basis of an extensive data set from feeding trails. In *Proceedings of the 16th International Science Symposium on Nutrition of Domestic Animals. Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Ljubljana, Slovenia* (pp. 232-237).
- Haydock, K.P., Shaw, N.H., 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15, 663–670. <https://doi.org/10.1071/EA9750663c>
- Kaufmann, L.D., Münger, A., Rérat, M., Junghans, P., Görs, S., Metges, C.C., Dohme-Meier, F., 2011. Energy expenditure of grazing cows and cows fed grass indoors as determined by the ¹³C bicarbonate dilution technique using an automatic blood sampling system. *J. Dairy Sci.* 94, 1989–2000. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3658>
- Kennedy, E., O'Donovan, M., Murphy, J.P., Delaby, L., O'Mara, F., 2005. Effects of grass pasture and concentrate-based feeding systems for spring-calving dairy cows in early spring on performance during lactation. *Grass Forage Sci.* 60, 310–318. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2005.00481.x>
- Kock, S.W., Preston, R.L., 1979. Estimation of bovine carcass composition by the urea dilution technique *J. Anim Sci.* 48, 319–327. <https://doi.org/10.2527/jas1979.482319x>.
- Kolver, E.S., Muller, L.D., 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 81, 1403–1411. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(98\)75704-2](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(98)75704-2)

- Komaragiri, M.V.S., Erdman, R.A., 1997. Factors affecting body tissue mobilization in early lactation dairy cows. 1. Effect of dietary protein on mobilization of body fat and protein. *J. Dairy Sci.* 80, 929–937.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76016-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76016-8)
- Komaragiri, M. V, Casper, D.P., Erdman, R., 1998. Factors affecting body tissue mobilization in early lactation dairy cows. 2. Effect of dietary fat on mobilization of body fat and protein. *J. Dairy Sci.* 81, 169–175.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75564-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75564-X)
- Law, R.A., Young, F.J., Patterson, D.C., Kilpatrick, D.J., Wylie, A.R.G., Mayne, C.S., 2009. Effect of dietary protein content on animal production and blood metabolites of dairy cows during lactation. *J. Dairy Sci.* 92, 1001–1012.
<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1155>
- Mattiauda, D.A., Tamminga, S., Gibb, M.J., Soca, P., Bentancur, O., Chilbroste, P., 2013. Restricting access time at pasture and time of grazing allocation for Holstein dairy cows: Ingestive behaviour, dry matter intake and milk production. *Livest. Sci.* 152, 53–62.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.12.010>
- Meikle, A., Adrien, M. de L., Mattiauda, D.A., Chilbroste, P., 2013. Effect of sward condition on metabolic endocrinology during the early postpartum period in primiparous grazing dairy cows and its association with productive and reproductive performance. *Anim. Feed Sci. Technol.* 186, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.10.003>
- Miron, J., Adin, G., Solomon, R., Nikbachat, M., Zenou, A., Shamay, A., Brosh, A., Mabweesh, S.Y., 2008. Heat production and retained energy in lactating cows held under hot summer conditions with evaporative cooling and fed two rations differing in roughage content and in vitro digestibility. *Animal* 2, 843–848. <https://doi.org/10.1017/S1751731108001900>
- 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. *Can. J. Anim. Sci.* 70, 833–843. <https://doi.org/10.4141/cjas90-102>

- NRC (National Research Council), 2001. Nutrient requirements of dairy cattle, seventh revised ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Ørskov, E.R., Grubb, D.A., Kay, R.N.B., 1977. Effect of postruminal glucose or protein supplementation on milk yield and composition in Friesian cows in early lactation and negative energy balance. *Br. J. Nutr.* 38, 397–405.
<https://doi.org/10.1079/BJN19770104>
- Tamminga, S., Luteijn, P.A., Meijer, R.G.M., 1997. Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. *Livest. Prod. Sci.* 52, 31–38. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00115-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00115-2)
- van der Drift, S.G.A., Houweling, M., Schonewille, J.T., Tielens, A.G.M., Jorritsma, J., 2012. Protein and fat mobilization and associations with serum β -hydroxybutyrate concentrations in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95, 4911–4920
- Vibart, R.E., Fellner, V., Burns, J.C., Huntington, G.B., Green, J.T., 2008. Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *J. Dairy Res.* 75, 471–480.
<https://doi.org/10.1017/S0022029908003361>
- Wales, W.J., Marett, L.C., Greenwood, J.S., Wright, M.M., Thornhill, J.B., Jacobs, J.L., Ho, C.K.M., Auldist, M.J., 2013. Use of partial mixed rations in pasture-based dairying in temperate regions of Australia. *Anim. Prod. Sci.* 53, 1167–1178. <https://doi.org/10.1071/AN13207>
- Washburn, S.P., White, S.L., Green, J.T., Benson, G.A., 2002. Reproduction, mastitis, and body condition of seasonally calved Holstein and Jersey cows in confinement or pasture systems. *J. Dairy Sci.* 85, 105–111.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74058-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74058-7)

3. EFEECTO DEL PASTOREO EN LA PRODUCCIÓN TOTAL DE CALOR Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE VACAS HOLANDO MULTÍPARAS EN LACTANCIA TEMPRANA Y MEDIA

EFFECT OF GRAZING ON TOTAL HEAT PRODUCTION AND ENERGY EFFICIENCY OF MULTÍPAROUS HOLSTEIN COWS IN EARLY AND MID LACTATION

Alejandra Jasinsky^{1*}, Diego A Mattiauda¹, Mateo Ceriani¹, Mariana Carriquiry^{2*}.

¹Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Estación Dr. Mario A Cassinoni, Universidad de la República. Ruta 3 km 363 CP 60000 Paysandú Uruguay.

²Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Av. Garzón 780 CP 12900, Montevideo Uruguay.

*Autor correspondiente: Alejandra Jasinsky. E-mail: asjasinsky@gmail.com

3.1. RESUMEN

Con el fin de comparar la partición de energía entre la producción de calor (HP) y la energía retenida (ER) en lactancia temprana y media de vacas lecheras alimentadas con 100% dieta totalmente mezclada (DTM) *ad libitum* (G0) o en pastoreo suplementadas con concentrado o DTM (G1), se utilizaron 24 vacas (parición de primavera) en un diseño de bloques al azar. La HP se midió utilizando la técnica de pulso de O₂ a los 35 y 150 ± 14 días de lactación (lactación temprana vs. media). Si bien la partición de la ER entre leche y tejido varió para los tratamientos y momentos evaluados, la ER total (ER-leche + ER-tejido) no difirió entre tratamientos ni momentos de lactancia. El consumo de EM (HP + ER total) disminuyó de lactancia temprana a media, pero esta disminución fue significativa solamente para las vacas G0. La HP diaria tendió ($p = 0,08$) a ser de 10 a 15% menor para las vacas G0 que G1 y disminuyó de lactancia temprana a media. A su vez, la diferencia en la HP residual entre vacas G1 y G0 fue del 10% del consumo de EM y 15% de la HP. La eficiencia en el uso de la EM consumida, ajustada por cambios en reservas corporales, tendió a ser mayor ($p = 0,08$) para las vacas G0 que G1 (0,43 vs. 0,39±0,01). Los requerimientos energéticos de mantenimiento para vacas en pastoreo se incrementarían aproximadamente un 10% frente a las vacas alimentadas con 100% DTM.

Palabras clave: ganado lechero, pastoreo, gasto energético, técnica pulso-O₂

3.2. SUMMARY

In order to compare the energy partitioning between heat production (HP) and retained energy (RE) in early and mid-lactation of dairy cows fed 100% total mixed ration (TMR) *ad libitum* (G0) or grazing supplemented with concentrate or TMR (G1), 24 spring-calved cows were used in a randomized block design. The HP was measured using the O₂ pulse technique at 35 and 150 ± 14 days of lactation (early vs. mid-lactation). Although the partition of the RE between milk and tissue varied for the treatments and moments evaluated, total RE (RE-milk + RE-tissue) did not differ between treatments or moments of lactation. Cow ME intake (total HP + RE) decreased from early to mid-lactation, but this decrease was significant only for G0 cows. Daily HP tended ($p = 0.08$) to be 10 to 15% lower for G0 than G1 cows and decreased from early to mid-lactation. In turn, the difference in residual HP between G1 and G0 cows was 10% of ME intake and 15% of measured HP. The efficiency in the use of consumed ME, adjusted for changes in body reserves, tended to be greater ($p = 0.08$) for cows G0 than G1 (0.43 vs. 0.39±0.01). Maintenance energy requirements for grazing cows would increase by approximately 10% compared to cows fed with 100% TMR.

Keywords: dairy cattle, grazing, energy expenditure, O₂-pulse technique

3.3. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la expansión de la población contribuye al incremento de la demanda de fuentes proteicas y energéticas de origen animal, como la carne y la leche; incremento que se da en un contexto de competencia de la tierra frente a otras actividades económicas. En este escenario, maximizar la inclusión de pasturas en la dieta, no solo es amigable con el medio ambiente, sino que presenta ventajas en términos económicos, disminuyendo los costos de alimentación, de confort animal y de calidad de producto (Dillon, 2006). Es así que, los sistemas mixtos de producción, en los que las pasturas son los componentes primarios de la dieta, constituyen una alternativa para la producción lechera sostenible, estimándose que el 86% de la producción mundial de leche proviene de estos sistemas.

Sin embargo, el pastoreo limita el consumo de materia seca (MS) y la producción de leche en vacas de alto potencial genético (Bargo y col., 2002), reduciendo la eficiencia de producción. La disminución en la eficiencia de producción en los sistemas lecheros pastoriles estaría explicada, entre otros factores, por un aumento de los requerimientos de energía de mantenimiento de los animales. Yan y col. (1997) reportaron que el requerimiento de energía metabolizable para mantenimiento (EMm) de vacas lecheras en producción se asoció a la proporción de forraje: concentrado de la dieta, aumentando hasta un 25% cuando la dieta contenía 100% de forraje. Recientemente, Dong y col. (2015a, 2015b) demostraron, mediante un metanálisis de datos obtenidos con vacas lecheras en cámaras de calorimetría, que el aumento de la proporción de forraje de 30 a 60% de la dieta incrementó los requerimientos de energía de mantenimiento entre 7 y 11%. Este incremento de la EMm se explicó debido a un aumento del tamaño y actividad órganos del tracto gastrointestinal y órganos internos (Reynolds y col., 1992). Finalmente, trabajos en ganado de carne (Aharoni y col., 2009) y leche (Dohme-Meier y col., 2014) sugieren que la actividad de animales en pastoreo incrementa los costos de mantenimiento de 7 a 30%.

En este contexto, contar con mayor información sobre los requerimientos de energía y eficiencia energética en vacas lecheras en sistemas pastoriles de producción es clave para mejorar el ingreso económico y la sustentabilidad de los mismos. El

presente trabajo tiene como objetivo comparar, en dos momentos de la lactancia (temprana y media), la partición de energía entre la producción de calor (HP) y la energía retenida (ER) de vacas Holstein multíparas en dos estrategias de alimentación diferentes (pastoreo + suplemento vs. estabulación).

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay) de julio 2015 a febrero 2016. El protocolo experimental fue aprobado por el Comité de Experimentación Animal de Facultad de Agronomía, Universidad de la República (Expe # 021130-001914 -15).

3.4.1. Diseño experimental, animales y tratamientos

Se utilizaron ($n = 24$) vacas Holstein multíparas paridas en primavera, con fecha promedio de 18/08/15 ± 11 d, con un promedio de lactancia de $2,3 \pm 0,5$, 665 ± 65 kg de peso vivo (PV) y $3,0 \pm 0,4$ unidades de condición corporal (Edmonson y col., 1989). Las vacas fueron bloqueadas de acuerdo al número de lactancia, fecha probable de parto, producción de leche anterior, PV y CC y asignadas al parto, a un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones (4 vacas/repeticón) y dos estrategias alimenticias durante los primeros 180 ± 11 d días de lactancia: (G0) vacas alimentadas con 100% DTM *ad libitum*, tratamiento control y (G1) vacas en pastoreo suplementadas con concentrado o DTM.

En el parto lejano (-49 a -21 días relativos al parto) se realizó un período de acostumbramiento donde se manejó el rodeo experimental como un solo grupo donde los animales tuvieron acceso a pasturas para cubrir los requerimientos de mantenimiento y gestación, buscando lograr una CC al parto de 3 a 3,5 unidades. Desde los -21 días hasta el parto se les suministró a todas las vacas una dieta parto a base de ensilaje de maíz (42,8%), concentrado comercial parto (20,7%; basado en grano de maíz, trigo, expeler de girasol y soja y sales), heno de moha (13,8%), raicilla de cebada (21,9%) y sal y urea (0,9%) además se les suministraba heno de moha a voluntad.

Durante el posparto, las vacas recibieron las dietas experimentales. Las vacas G0 recibieron DTM *ad libitum* ofrecida una vez al día en la mañana, en un encierro grupal (4 vacas por corral; dimensión del corral: 8 x 22,6 m) con acceso a agua y sombra durante todo el día. La DTM (relación forraje: concentrado de 70:30, base fresca) fue formulada para una producción de leche de 40 kg/d (NRC, 2001) y un rechazo de 15 a 20%. La DTM estaba compuesta por ensilaje de maíz y heno de moha (*Setaria italica*) o henilaje de alfalfa y un concentrado que incluía grano de sorgo (22,6%), grano de maíz (6,8%), grano de cebada (4,4%), expeller de girasol (7,5%), expeller de soja (13,6%) y minerales y vitaminas (1,7%). Las vacas G1 de 0 a 113 de lactancia tuvieron acceso (1,8 km de la sala de ordeño), durante 18 h diarias, en franjas semanales, a una pastura de *Festuca arundinacea* (2500 ± 490 kg/ha) con una asignación de 30 kgMS/d (por encima de 4 cm desde el suelo) y una composición química (base seca) de: 26,4 %MS, 14,2% proteína cruda (PC), 54,7% fibra detergente neutro (FDN), 30,1 % fibra detergente ácido (FDA) y 6,6 MJ/kg MS de energía neta de lactación (ENL). Adicionalmente, luego del ordeño de la mañana, se les ofreció en comederos individuales, 5,4 kgMS/d de un concentrado a base de grano de maíz (32%), grano de cebada (31%), expeller de soja (32%) y una mezcla de sal, vitaminas y minerales (5%), con 87,0 %MS 16,8 %PC, 28,5 % FDN, 9,3 % FDA, y 7,7 MJ/kgMS ENL. Desde los 114 a 180 días de lactancia, debido al estrés térmico ambiental (ITH mayor a 72 durante más de 5 h consecutivas en 3 días consecutivos; Johnson y col., 1961), las vacas G1 tuvieron acceso (1,2 km de la sala de ordeño) durante 10 h, en franjas semanales, a una pastura de alfalfa (*Medicago sativa*; 1380 ± 328 kgMS/ha, asignación por encima de 4 cm desde el suelo de 20 kg MS/d) con 26,4% MS, 23,3% PC, 30,1% FDN, 24,7% FDA y 7,0 MJ/kgMS ENL. Durante este período, luego del ordeño de la mañana, se les ofreció, en las mismas condiciones que a las vacas G0, DTM (50% del ofrecido *ad libitum* a las vacas G0) compuesta por ensilaje de maíz (23,3%), henolaje de alfalfa (19%), grano de sorgo (20,8%), grano de maíz (11,8%), grano de cebada (11,5%), expeller de soja (11,8%) y mezcla de sales, minerales y vitaminas (1,8%), con una composición química de 41,5% MS, 11,1% PC, 32,1% FDN, 22,0% FDA y 6,9 MJ/kgMS ENL.

Las proporciones de DTM, concentrado y pastura en la dieta (base seca) calculadas para cada tratamiento después que se determinó el consumo de DTM (basado en la diferencia entre ofrecido y rechazado) y pastura (según NRC, 2001) (Ceriani et al ., 2018), indicaron que la dieta para las vacas G0 durante los 180 días de lactancia estaba compuesta por 44% forraje conservado y 55% concentrado y para las vacas G1 de los 0 a 113 días por 73,5% de forraje fresco (pastura) y 26,5% de concentrado mientras que de los 114 a los 180 días por 62% forraje (32,7% pastura y 29,3% forraje conservado) y 38% de concentrado (base seca; Tabla 1).

Tabla 1. Composición química estimada de las dietas según la estrategia de alimentación y días de lactación

	Dietas ¹		
	G0	G1	
Días de lactación	0 a 180	0 a 113	114 a 180
<i>Compsición química²</i>			
Materia seca, %	43,1	42,4	36,5
Proteína cruda, %MS	12,9	14,9	15,1
Fibra detergente neutro, %MS	33,8	47,6	31,4
Fibra detergente ácido, %MS	21,3	24,5	22,9
Energía neta de lactación, MJ/kgMS ³	7,0	6,9	6,9
Proteína Metabolizable , g/d ³	1854	1762	1914

¹Las dietas corresponden a: vacas alimentadas con 100% DTM *ad libitum*, tratamiento control (G0) y vacas en pastoreo suplementadas con concentrado (0 a 113 d) o DTM (114 a 180 d) (G1).

²La composición de nutrientes calculada a partir de la estimación de consumo de DTM, concentrado y pastura (Ceriani y col., 2018) y análisis de muestras químicas.

³La la energía neta de la lactancia y proteína metabolizable (PM) se estimaron según NRC (2001). El balance de PM indicó que las dietas suministraron al menos 85% del requerimiento de MP para las dos estrategias de alimentación.

Las vacas fueron ordeñadas dos veces al día, la producción de leche se registró diariamente mediante medidores de leche Waikato © milk-meter y se tomaron muestras de leche semanalmente hasta 90 días y quincenalmente desde 91 a 180 días posparto. Se determinó mediante una balanza (Hook AT 150, Argentina) el PV y la CC (Edmonson y col., 1989) quincenalmente.

3.4.2. Producción total de calor

La producción de calor (HP) se midió utilizando la técnica de pulso de O₂ (O₂P; Brosh, 2007) a los 35 y 150 ± 11 días de lactación (lactancia temprana y media, respectivamente). Este método se basa en la medición de la frecuencia cardíaca (HR) y el consumo de oxígeno (VO₂) individualmente en cada vaca. La frecuencia cardíaca se midió de forma continua durante 4 días con un monitor cardíaco Polar ® (RCX3; Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) con un transmisor de frecuencia cardíaca T51H (Polar Electro Oy) y un registrador de datos programado para registrar la HR en intervalos de 5 seg. Los dispositivos fueron colocados por medio de un cinturón diseñado específicamente para los animales, colocado detrás de la articulación escapulo-humeral.

Para calcular el pulso de oxígeno (O₂P; mL O₂/latido por kg PV^{0.75}), se midió en cada vaca en un intervalo de corto plazo (10 a 15 min), simultáneamente a intervalos de 5 seg, la HR y el VO₂ (mL O₂/kg PV^{0.75} por h) usando una máscara facial de circuito abierto (Fedak y col., 1981). Las mediciones del O₂P se realizaron 1 d antes o 1 d después del período de medición de HR (4 días) entre las 06:00 y las 11:00 h. En la medición del día 150 (verano) el O₂P se corrigió de acuerdo al efecto del índice de temperatura y humedad (ITH) según Aharoni y col. (2003). La calibración del sistema se comprobó gravimétricamente mediante la inyección de N₂ en la máscara que promedió 86% en las dos mediciones.

El HP promedio diario y el HP a lo largo del día se cuantificaron a partir de los datos individuales de la HR, el O₂P y la constante de 20,47 kJ/L de O₂ consumido (Nicol y Young, 1990) según las siguientes ecuaciones (Brosh, 2007): HP diario (MJ/vaca por día) = HP específico (kJ kgPV^{0.75}/d) x PV^{0.75} (kg)/1000; donde HP

específico (kJ/kg PV^{0.75} por día) = HP (latidos/min) x O₂P (mL/latidos por kg PV^{0.75}) x (20,47 kJ/L O₂ consumido/1000) x 60 x 24.

3.4.3. Cálculos y análisis estadístico

El balance de energía en cada período se calculó a partir de los datos obtenidos -14 a 14 días alrededor de las mediciones de HP (de 21 a 49 y 136 a 164 ± 11 días) de lactación para lactancia temprana y media, respectivamente). La producción de energía de la leche (ER-leche) se calculó a partir del rendimiento de la leche y su composición, utilizando los coeficientes de 38.5, 23.8 y 17.5 MJ/kg de grasa, proteína y lactosa (NRC, 2001), respectivamente. La energía retenida en las reservas corporales (ER-tejido) se estimó en base a los cambios de PV y CC (Fox y col., 1999). La ER-total se calculó como la suma de ER-leche + ER-tejido. El consumo de EM se estimó como la suma de HP + ER total y la eficiencia en el uso de la energía se calculó como la ER-leche dividida el consumo de EM y la eficiencia en el uso de energía ajustada por los cambios en las reservas corporales se calculó como ER-total dividida el consumo de EM. La HP predicha se calculó a partir de PV y la ER-total utilizando los coeficientes de 0,33 MJ/kgPV^{0.75}, 0,62 y 0,64 para los requerimientos de mantenimiento, km y kl, respectivamente (NRC, 2001). La HP residual se calculó a partir de la diferencia entre la HP medida y predicha en base a los coeficientes de mantenimiento, km y kl (NRC, 2001).

Los datos se analizaron utilizando el programa SAS System (SAS University Edition, SAS Institute Inc., Cary, NC, EE.UU.). Se realizaron análisis univariados en todas las variables para identificar valores atípicos e inconsistencias y para verificar la normalidad de los residuos. La producción de leche, los cambios de PV y CC, los componentes del balance de energía y eficiencia en el uso de la energía se analizaron mediante el procedimiento MIXED con un modelo mixto y medidas repetidas. El modelo incluyó la estrategia nutricional, el momento de la lactancia o medición y su interacción como efectos fijos y el bloque o corral como efecto aleatorio. Se utilizó la estructura de covarianza no restringida (UN) y el procedimiento de Kenward-Rogers para ajustar los grados de libertad del denominador. Para todos los análisis, la fecha de parto se utilizó como covariable si p<0,20. Se realizaron pruebas de Tukey-Kramer

para analizar las diferencias entre los grupos ($\alpha = 0,05$). Para todos los resultados, se consideró que las medias diferían cuando $p \leq 0,05$, y las tendencias se identificaron cuando $0,05 < p \leq 0,10$. Los datos se presentan como media $\pm$ error estándar.

3.5. RESULTADOS

La producción de leche disminuyó ($p < 0,01$) de los 35 a los 150 días de lactación y si bien no difirió entre tratamientos, hubo una interacción entre tratamiento y momento de lactancia ($p < 0,01$) ya que la misma fue 5 kg/d mayor ($p < 0,01$) para las vacas G1 que G0 a inicios de lactancia (35 días), pero no en lactancia media (150 días; Tabla 2). Los porcentajes de grasa y proteína en leche no fueron diferentes entre tratamientos ni momentos de lactancia, mientras que el porcentaje de lactosa fue mayor ($p = 0,03$) para las vacas G0 que G1 (Tabla 2), principalmente a los 150 días de lactación. La ER-leche fue mayor ($p = 0,02$) en lactancia temprana que media, pero la interacción entre tratamiento y momento de lactancia fue significativa ($p < 0,01$) ya que a los 35 días fue mayor ($p = 0,01$) para las vacas G1 que G0 y disminuyó ($p < 0,05$) a los 150 días solamente en las vacas G1, difiriendo ($p < 0,05$) entre tratamientos en ambos momentos de lactancia (Tabla 2; Figura 1A).

Los cambios de PV y CC no fueron distintos entre tratamientos ni momentos de lactancia (Tabla 2). Sin embargo, el cambio de PV, pero no de CC, fue afectado por la interacción entre tratamiento y momento de lactación, ya que el PV disminuyó ($p < 0,05$) en lactancia temprana (35 días) solamente en las vacas G1 y se mantuvo (cambio de PV no diferente de cero) para los dos tratamientos en lactancia media (150 días). Es así que, la ER-tejido no difirió entre tratamientos ni momentos de lactancia, pero fue afectada por la interacción entre tratamiento y momento ya que fue menor ($p < 0,05$) para las vacas G1 que G0 a los 35 días de lactación, no difiriendo entre tratamientos a los 150 días. La ER-tejido no fue diferente de cero excepto para las vacas G1 a los 35 días ($-9,2 \pm 3,0$ MJ/d). La ER total, resultado de la suma de ER-leche y ER-tejido, no difirió entre las vacas G0 y G1 (Tabla 2).

El consumo de EM, estimado como la suma de HP y ER total, no fue diferente entre las vacas G0 y G1, disminuyendo ($p < 0,01$) de lactancia temprana a media (de los 35 a 150 días), siendo esta disminución más evidente en las vacas G0 que G1 (Tabla

2; Figura 1B). Los tratamientos nutricionales no afectaron la HR (Tabla 2), la cual fue mayor ($p < 0,01$) a inicios de lactancia que en lactancia media (92 vs. $83 \pm 1,3$). En promedio el O_2P fue mayor ($p = 0,01$) para las vacas G1 que G0 (Tabla 2) y la interacción entre tratamiento y momento de lactancia tendió ($p = 0,08$) a ser significativa, ya que el O_2P fue 17% mayor para las vacas G1 que G0 en lactancia media pero no difirió entre tratamientos en lactancia temprana ($0,407$ vs. $0,428 \pm 0,012$ y $0,367$ vs. $0,430 \pm 0,012$ para vacas G0 vs. G1 en lactancia temprana y media, respectivamente). La HP diaria tendió ($p = 0,10$) a ser mayor para las vacas G1 que G0 y disminuyó ($p = 0,02$) de los 35 a los 150 días de lactación (Tabla 2; Figura 1C). El HP residual, calculado como la resta del calor medido menos el predicho tendió a ser menor ($p = 0,07$) para las vacas que G0 que G1 y fue mayor ($p = 0,05$) en lactancia temprana que media (35 vs. 150 días) (Tabla 2; Figura 1D).

Tabla 2. Respuestas productivas y partición de la energía de vacas alimentadas con 100% DTM (G0) o con pastoreo y suplementación con concentrados o DTM (G1) en dos momentos de la lactancia (35 vs. 150 ± 14 días).

	Tratamientos			Valor P^1		
	G0	G1	ES	TRAT	ML	TRATxM
Leche (kg/d)	32,2	33,7	0,99	0,30	0,01	<0,01
<i>Composición de leche %</i>						
Grasa	3,3	3,3	0,13	0,93	0,72	0,90
Proteína	3,1	3,0	0,05	0,15	0,19	0,23
Lactosa	5,0	4,9	0,04	0,03	0,13	<0,01
Cambio peso vivo (kg)	-6,6	-9,6	16	0,56	0,17	0,01
Cambio condición corporal (unidad)	-0,08	-0,02	0,03	0,20	0,81	0,15
HR (latidos/min)	88	87	1,4	0,95	<0,01	0,61
O2P (mL/latido por kg PV ^{0,75})	0,386	0,427	0,01	0,01	0,14	0,08
<i>Partición de la energía (MJ/d)²</i>						
Consumo energía metabolizable	210,2	220,2	8,0	0,38	<0,01	0,26
Energía retenida en leche	92,0	94,0	2,5	0,59	0,02	<0,01
Energía retenida en tejido	-0,4	-4,9	3,0	0,31	0,99	0,04
Energía retenida total	91,6	86,5	3,7	0,34	0,38	0,67
Producción de calor medida	119,4	134,0	6,0	0,10	0,02	0,91
Producción de calor predicha	117,0	114,2	2,4	0,45	0,64	0,52
Producción de calor residual	3,46	19,6	6,0	0,07	0,05	0,63
Eficiencia energética bruta ⁵	0,44	0,43	0,01	0,65	0,42	<0,01
Eficiencia energética bruta ajustada ⁶	0,44	0,39	0,02	0,10	0,11	0,39

¹TRAT = tratamiento, M= momento de lactancia. ²Datos referidos a los periodos de 21 a 49 y 136 a 164 ± 11 días de lactación.

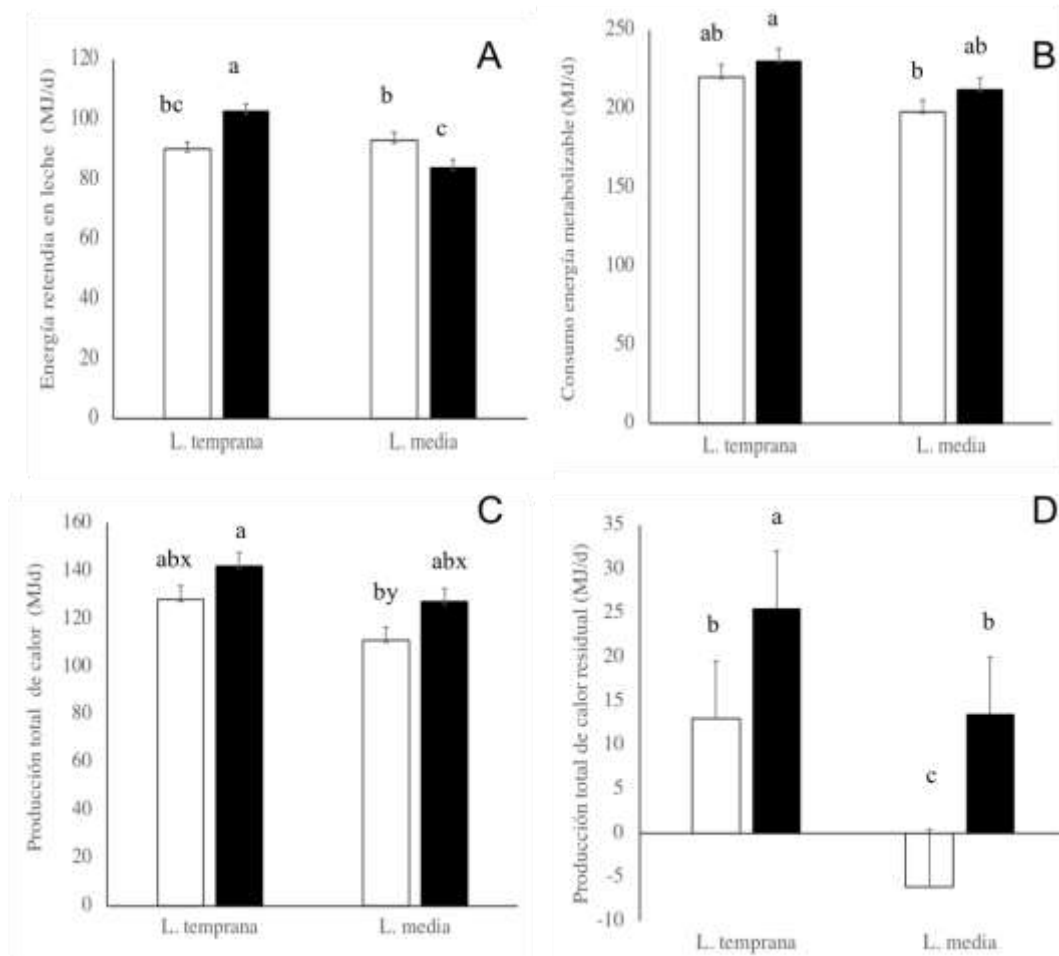


Figura 1. Partición de la energía consumida (energía retenida en leche, **A**; consumo de energía metabolizable, **B**; producción total de calor, **C**; producción de calor residual, **D**) en vacas alimentadas con 100% DTM (G0, barras blancas) o con pastoreo y suplementación con concentrados o DTM (G1, barras negras) en lactancia temprana y media (35 vs. 150 ± 14 días).

3.6. DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo indicaron que, si bien la ER total y el consumo de EM no difirieron entre estrategias de alimentación, la inclusión del pastoreo tendió a incrementar la producción total de calor frente a las vacas alimentadas con 100% DTM, determinando que la eficiencia energética bruta ajustada, según cambios de PV y CC, en el uso de la EM consumida tendiera a ser mayor en este último grupo de vacas. La ER total refleja la ER-leche más la ER-tejido; si bien en el presente trabajo existieron pequeños cambios en el PV y CC de las vacas en los períodos evaluados, la pérdida de PV así como la ER-tejido indicaron que en lactancia temprana las vacas G1, se encontraban en balance energético negativo, movilizandore reservas corporales mientras que las vacas G0 se encontraban en mantenimiento. Si bien en lactancia temprana las vacas lecheras deben movilizar el tejido corporal para satisfacer las demandas metabólicas de la síntesis de leche (Bauman, 1999), el nadir de balance energético negativo en vacas lecheras ocurre en las dos primeras semanas posparto (Carriquiry y col., 2009; de Vries y col., 1999) y las vacas retornan a un balance positivo entre los 40 y 70 días de lactancia (de Vries y col., 1999); explicando que las vacas G0 se encuentren en mantenimiento. A su vez, en acuerdo con nuestros resultados, vacas lecheras pastoreando con suplementación (hasta 4 kg MS/d de concentrado) tanto de parición de primavera (Kennedy y col., 2005) y otoño (Kennedy y col., 2015) movilizaron más reservas corporales a inicios de lactancia que vacas alimentadas con 100% DTM, lo que estaría explicado por menores consumos de MS o mayores gastos energéticos en las primeras.

Si bien se ha demostrado la producción y ER en leche fue de 10 a 28% mayor en vacas alimentadas con 100% DTM que vacas alimentadas con pasto más suplemento en lactancia temprana (Kennedy y col., 2015) y media (Bargo y col., 2002), en el presente trabajo tanto la producción de leche como la ER-leche fue mayor (10%) para las vacas en pastoreo (G1) que para la alimentadas con 100% DTM (G0). La menor producción y ER-leche en las vacas G0 que G1, podrían estar asociadas a una baja concentración de PC en la DTM (12,9 vs. 18%; presente trabajo vs. recomendación para maximizar producción de leche según NRC, 2001; Aguerre y col., 2010; Colmenero y Broderick, 2006). Asimismo, las vacas alimentadas con 100%

DTM sufrieron, sumados al estrés del parto en sí, condiciones estresantes durante el posparto temprano dado por el cambio de ambiente productivo - adaptación a las nuevas instalaciones, cambio de dieta y reestructuración de los lotes generando nuevas estructuras sociales dentro de los corrales que pueden haber determinado menor producción de leche y ER-leche en lactancia temprana (Von Keyserlingk y col., 2008). Finalmente, el consumo de MS podría estar limitado en las vacas alimentadas con 100% DTM ya que el rechazo durante este período fue menor al 5%. Sin embargo, el consumo de EM no presentó diferencias entre tratamientos durante este período. De manera similar a nuestros resultados, Kennedy y col. (2005) reportaron que la producción de leche (~27,5 kg/d) y el consumo de MS (~15,5 kg/d) no se diferenció en vacas lecheras de parto de primavera a las que se les ofreció pasturas de alta calidad en comparación con vacas alimentadas con una DTM en base a concentrado y silo.

En acuerdo con nuestros resultados, se ha reportado que en lactancia media es esperable un balance de energía cercano a cero y que no habría movilización o deposición de energía en reservas corporales (Aharoni y col., 2005) este momento de lactancia (lactancia media; verano), la producción de leche no difirió entre estrategias de alimentación, la ER en leche fue 10% mayor en vacas alimentadas con 100% DTM (G0) que en pastoreo más DTM (G1, 33% de pastura en la dieta). (Fajardo y col., 2015; Bargo y col., 2002). De acuerdo a lo esperado con la curva de lactancia de vacas paridas en primavera (Chilibroste y col., 2002), la producción y ER en leche disminuyó de lactancia temprana a media para las vacas G1. Esta disminución responde no solo a la curva fisiológica de lactancia (NRC, 2001) sino también posiblemente esté asociada al estrés térmico por calor del verano (ITH promedio = 70 ± 7). Resultados de investigación (West y col., 2003) muestran que las vacas lecheras sometidas a estrés por calor reducen la producción de leche entre un 35-40%, reducción que es explicada por la reducción en el consumo de MS (~50%) así como por cambios en la utilización metabólica de los macronutrientes hacia una preferencia de la oxidación de carbohidratos sobre la de lípidos. Se ha reportado que la disminución en el consumo de MS debido a un aumento de la temperatura es acompañada de un cambio en el comportamiento ingestivo, disminución el número de comidas (Bernabucci, 2012) y en el número de horas dedicadas a comer y a rumiar (Tapki y Sahin, 2006) y aumento

del consumo en las horas de la noche (Breinholt y col., 1981). En este sentido, en el presente trabajo las vacas G1 tenían acceso a una nueva oferta de alimento – pastura – en la noche, luego del ordeño de la tarde, mientras que las vacas G0 volvían al encierro, donde el DTM se les ofrecía en una única vez en la mañana. Esta diferencia en los momentos de oferta de nuevo alimento podría explicar, al menos parcialmente, el mayor consumo en las vacas en pastoreo (G1). Como se mencionó anteriormente, este mayor consumo de EM (pastoreo + DTM) de las vacas G1 en lactancia media, no se asoció con mayor ER-leche ni ER-total cuando se compara con las vacas G0, probablemente diferencias en los nutrientes absorbidos, en la exposición al medio ambiente, así como en el gasto energético de mantenimiento expliquen estas diferencias entre las estrategias de alimentación.

La HP total incluye el incremento de calor por aumento del consumo, así como el mantenimiento (NRC, 2001). En el presente trabajo la HP total fue mayor en las vacas en pastoreo (G1) que alimentadas con 100% DTM (G0), especialmente en lactancia media. Esta mayor HP total estuvo explicada por un mayor O₂P (10% mayor) de las vacas en pastoreo ya que no existieron diferencias entre estrategias nutricionales en la HR. La HR y el O₂P estuvieron en el rango de lo reportado para vacas lecheras en estudios previos que usaron la técnica O₂P (Aharoni y col., 2006, 2005; Miron y col., 2008). Asimismo, en acuerdo con nuestros resultados, Brosh (2007) trabajando con vacas de carne en lactación, reportaron que el O₂P de vacas pastoreando era 20% mayor al de vacas estabuladas, lo cual estaría indicando una mayor tasa metabólica, asociada a los costos energéticos por actividad - caminata y pastoreo y a la calidad de la pastura, entre otros factores.

La HP total es la suma de HP para la producción de leche y tejidos corporales (HP_p) más HP para el mantenimiento (HP_m) (Miron y col., 2008). En este trabajo, mientras no encontramos diferencias en la ER total entre estrategias nutricionales, la HP total tendió a ser mayor para las vacas G1 que G0, por lo que sería esperable que la HP_m, y no la HP_p, fuera mayor para las vacas en pastoreo (G1). A partir del cálculo de la HP residual, basada en la diferencia entre la HP medida y predicha en base a los coeficientes de mantenimiento, km y kl (NRC, 2001), se observa que la diferencia en la HP residual entre estrategias nutricionales (G1 vs. G0) fue aproximadamente el 10%

del consumo estimado de EM y el 15% de la HP, indicando que en las vacas G1, una mayor proporción de la EM se particionó hacia mantenimiento en detrimento de producción.

El mayor costo de mantenimiento de las vacas en pastoreo (G1) estaría relacionado con los costos energéticos de la actividad de pastoreo y caminata, así como de digestión y metabolismo por un mayor porcentaje de forraje y pastura en la dieta (Agnew y Yan, 2000; Dohme-Meier y col., 2014). Dohme-Meier y col. (2014), indicaron que el gasto de energía en vacas lecheras en pastoreo fue 19% mayor que en vacas estabuladas consumiendo la misma pastura, relacionando este mayor gasto a una mayor actividad física, asociado a un mayor tiempo destinado a comer. Varios autores han indicado que el gasto de energía de las actividades de comer y caminar es mayor que el de descansar y rumiar (Susenbeth y col., 2004). En este sentido, en el presente trabajo las vacas G1 dedicaron 24% más del tiempo diurno a consumir que las G0, mientras que éstas últimas dedicaron 10% más del tiempo a otras actividades (beber, descansar, rumiar) que las vacas G1 (Ceriani y col., sin publicar). Di Marco y Aello (2001) mostraron en novillos Aberdeen Angus que los requerimientos de energía pueden aumentar entre 8 y 30% por encima de metabolismo basal dependiendo de las condiciones de pastoreo, siendo la tasa de bocado la variable que más afecta el gasto energético de pastoreo. En este sentido, un pastoreo a una tasa de bocados un poco más baja que las encontradas en el presente trabajo (28 vs. 32 a 42 bocados/min; Ceriani y col., sin publicar) determinaron incrementos del 16% por encima del costo de metabolismo basal. Asimismo, Brosh y col. (2006) trabajando en vacas de carne, demostraron que todos los costos (pararse, trasladarse y comer) relacionados con la actividad de pastoreo en su conjunto, representaron del 5,8 al 11,4% del gasto diario de energía considerando distintas estaciones, estados fisiológicos, disponibilidades y calidades de forraje.

Por otra parte, el mayor gasto de mantenimiento de las vacas G1 que G0 podría estar también asociado a un aumento de los costos de digestión y metabolismo ya que las vacas G1 recibieron más forraje total (62 a 73,5 vs. 44%) y más pastura fresca (32,7 a 73,5 vs. 0%). Dong y col. (2015a, 2015b) determinaron que asociado con un aumento del tamaño y actividad órganos del tracto gastrointestinal y órganos internos (Reynolds

y col., 1992), el requerimiento energético de mantenimiento se incrementaba en un 10% más cuando las dietas incluían más del 60% de forraje en comparación con aquellos con menos del 30% mayor, incrementándose aún más si la proporción de forraje en la dieta aumenta a más de 80 o 90%. Asimismo, se ha señalado que el desbalance proteína: energía de las pasturas, incrementa 10% los requerimientos de energía de mantenimiento debido principalmente por el costo que tiene el organismo para excretar el nitrógeno a través del ciclo de la urea. De hecho, en lactancia temprana, el balance de proteína degradable (PDR) en rumen mostró que la PDR aportada por la dieta era similar a la requerida para las vacas G0 mientras que era un 30% superior a la requerida para las vacas G1. Como resultado de los mayores costos energéticos de mantenimiento, la eficiencia en el uso de la energía consumida, estimada como ER total/CEM, tendió a ser mayor en las vacas G0 que G1, indicando que las vacas en pastoreo requirieron 0.30 unidades adicionales de EM para retener la misma energía en producto, como leche y tejido corporal. Esto nos sugiere que las primeras logran una mejor en la utilización de la EM consumida.

En las condiciones de este experimento el efecto el momento de lactancia está confundido, al menos parcialmente, con el efecto de la estación del año (estrés térmico de verano y proporción pastura en la dieta). Nuestros resultados indicaron que a pesar que la ER total no difirió entre lactancia media y temprana para ninguna de las estrategias nutricionales, la HP medida disminuyó de 10 a 15% y la HP residual aproximadamente un 50% no existiendo interacción entre la estrategia nutricional y el momento de lactancia. En contraste con nuestros resultados, Dohme-Meier y col. (2014) reportaron que la HP de vacas lecheras en pastoreo o consumiendo la misma pastura en estabulación se mantuvo entre lactancia temprana y media, a pesar de que el consumo de MS aumentó en ese período, mientras que Aharoni y col. (2005) señalaron en vacas lecheras alimentadas con DTM que para un período de tres meses a pesar de que la energía retenida disminuyó, la HP permaneció incambiada. La disminución en HP total y residual, se acompañó de una reducción del consumo de EM (~20%) para las vacas G0 y a una disminución del porcentaje de forraje total y pastura fresca en la dieta para las vacas G1. Esto determinó una disminución en el tiempo destinado a comer y un aumento en tiempo destinado a descansar (Ceriani y

col., sin publicar), con la consiguiente reducción en los costos energéticos (Sunsanbeth y col., 1998, 2004). Finalmente, la HP residual en lactancia media no fue diferente de cero para las vacas G0, sugiriendo que es posible estimar correctamente los requerimientos de energía de mantenimiento a partir del NRC (2001) para vacas estabuladas alimentadas con 100% DTM en lactancia media pero los mismos deben ser ajustados para vacas en pastoreo dependiendo del manejo del pastoreo y suplementación.

La eficiencia de utilización de la energía (leche y tejido) disminuye con el avance de la lactancia, a medida que aumenta el consumo el consumo de MS y disminuye la producción de leche (Aharoni y col., 2006), asociado al aumento de los requerimientos de mantenimiento (Ellis y col., 2006). En contraste, en el presente trabajo, no observamos diferencias en la eficiencia de utilización de la energía consumida entre lactancia temprana y media. Probablemente, la interacción de la etapa de lactancia con el ambiente y alimentación expliquen las diferencias entre el presente trabajo e investigaciones previas.

3.7. CONCLUSIÓN

La inclusión del pastoreo disminuyó la eficiencia en el uso de la EM consumida ajustada por cambios en las reservas corporales asociado a una mayor producción total y residual de calor. Estos resultados indicarían que, en el presente trabajo, los requerimientos energéticos de mantenimiento para vacas en pastoreo se incrementaron aproximadamente un 10% frente a las vacas alimentadas con 100% DTM. Mientras que las diferencias entre los tratamientos en producción total y residual de calor fueron mayores en lactancia media que en lactancia temprana, a pesar que la inclusión de pastura en la dieta fue menor. Posiblemente esto sea reflejo de las condiciones ambientales -lactancia temprana (primavera) - lactancia media (verano)

3.8. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a sus compañeros estudiantes de grado y posgrado por su ayuda en el manejo y muestreo de animales, al personal de la Estación Experimental Dr. Mario A, Cassinoni por el cuidado y asistencia de los animales durante todo el

trabajo. Este estudio fue apoyado por el proyecto de investigación ANII_FSA_1_2013_1_12612 otorgado a M. Carriquiry y D. Mattiauda y por la beca de posgrado (POS_NAC_2015_1_109827) otorgada a A. Jasinsky, ambas financiadas por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (Uruguay).

3.9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnew RE, Yan T. (2000). Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livest Prod Sci* 66: 197–215.
- Aguerre MJ, Wattiaux MA, Hunt T, Larget BR. (2010). Effect of dietary crude protein on ammonia-N emission measured by herd nitrogen mass balance in a freestall dairy barn managed under farm-like conditions. *Animal* 4: 1390–1400.
- Aharoni Y, Henkin Z, Ezra A, Dolev A, Shabtay A, Orlov A, Yehuda Y, Brosh A. (2009). Grazing behavior and energy costs of activity: A comparison between two types of cattle. *J Anim Sci* 87: 2719–2731.
- Aharoni Y, Brosh A, Kafchuk E. (2006). The efficiency of utilization of metabolizable energy for milk production: a comparison of Holstein with F1 Montbeliarde x Holstein cows. *Anim Sci* 82: 101–109.
- Aharoni Y, Brosh A, Harari Y. (2005). Night feeding for high-yielding dairy cows in hot weather: Effects on intake, milk yield and energy expenditure. *Livest Prod Sci*. 92: 207–219.
- Aharoni Y, Brosh A, Kounlov P, Arieli A. (2003). The variability of the ratio of oxygen consumption to heart rate in cattle and sheep at different hours of the day and under different heat load conditions. *Livest Prod Sci* 79: 107–117.
- Bargo F, Muller LD, Delahoy JE, Cassidy TW. (2002). Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J Dairy Sci* 85: 2948–2963.
- Bauman DE. (1999). Bovine somatotropin and lactation: From basic science to commercial application. *Domest. Anim. Endocrinol.* 17:101–116.
- Bernabucci U. (2012). Impact of the hot environment on nutrient requirements. En: Collier J, Collier JL. (Eds.). *Environment Physiology of Livestock*. Iowa: John

Wiley and Sons, Inc. 101-128 p

- Breinholt KA, Gowen FA, Nwosu CC. (1981). Influence of environment and animal factors on day and night grazing activity of imported Holstein-Friesian cows in the humid lowland tropics of Nigeria. *Tropical Animal Production*. 6 (4): 300-307.
- Brosh A. (2007). Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. *J Anim Sci* 85: 1213–1227.
- Brosh A, Henkin Z, Orlov A, Aharoni Y. (2006). Diet composition and energy balance of cows grazing on Mediterranean woodland. *Livest Sci* 102: 11–22.
- Carriquiry M, Weber WJ, Dahlen CR, Lamb GC, Baumgard LH, & Crooker BA. (2009). Production response of multiparous Holstein cows treated with bovine somatotropin and fed diets enriched with n-3 or n-6 fatty acids¹. *J Dairy Sci* 92(10): 4852-4864.
- Ceriani M, Jasinsky A, Carriquiry M, Mattiauda DA. (2018). Milk production, intake and ingestive behavior of Holstein cow fed total mixed ration or partial mixed ration in early lactation. American dairy science association®annual meeting. Vol. 101 (Suppl. 2) Knoxville, Tennessee, Estados Unidos. páginas 451
- Chilibroste P, Naya H, Urioste JI. (2002). Evaluación cuantitativa de curvas de lactancia de vacas holando en Uruguay. 3. Implicancias biológicas de las curvas de producción multifásica. *Revista Argentina de Producción Animal*. 22(1) 358-359.
- Colmenero JO, & Broderick GA. (2006). Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 89(5): 1704-1712.
- de Vries MJ, Van Der Beek S, Kaal-Lansbergen LMT E, Ouweltjes W, & Wilmink J BM. (1999). Modeling of energy balance in early lactation and the effect of energy deficits in early lactation on first detected estrus postpartum in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82(9), 1927-1934.
- Dillon, P. (2006). Achieving high dry-matter intake from pasture with grazing dairy cows. In: A. Elgersma, J. Dijkstra, S. Tamminga (Eds.), *Fresh Herbage for*

- Dairy Cattle, The Key to a Sustainable Food Chain. Springer, Dordrecht, the Netherlands. pp. 1-26.
- Di Marco ON, Aello MS. (2001). Energy expenditure due to forage intake and walking of grazing cattle (online). Brazilian Arquivo de Medicina Veterinária e Zootecnia, 53(1): 105 - 110.
- Dohme-Meier F, Kaufmann LD, Görs S, Junghans P, Metges CC, van Dorland HA, Bruckmaier RM, Münger A. (2014). Comparison of energy expenditure, eating pattern and physical activity of grazing and zero-grazing dairy cows at different time points during lactation. *Livest Sci* 162: 86–96.
- Dong LF, Ferris CP, McDowell DA, Yan T. (2015a). Effects of diet forage proportion on maintenance energy requirement and the efficiency of metabolizable energy use for lactation by lactating dairy cows. *Journal of Animal Science* (98): 8846–8855.
- Dong LF, Yan T, Ferris CP, McDowell DA. (2015b). Comparison of maintenance energy requirement and energetic efficiency between lactating Holstein-Friesian and other groups of dairy cows. *Journal of Animal Science* (98): 1136–1144.
- Edmonson AJ, Lean IJ, Weaver LD, Farver T, Webster G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 72: 68–78.
- Ellis JL, Qiao F, Cant JP. (2006). Evaluation of net energy expenditures of dairy cows according to body weight changes over a full lactation. *J Dairy Sci* 89: 1546–1557.
- Fajardo M, Mattiauda DA, Motta G, Genro TC, Meikle A, Carriquiry M, Chilbroste P. (2015). Use of mixed rations with different access time to pastureland on productive responses of early lactation Holstein cows. *Livest Sci* 181: 51–57.
- Fedak MA, Rome L, Sheeherman HJ. (1981). One-step N₂- dilution technique for calibrating open-circuit VO₂ measuring systems. *J Appl Physiol* 51 (3): 772 – 776.
- Fox DG, Van Amburgh ME, Tylutki TP. (1999). Predicting requirements for growth, maturity, and body reserves in dairy cattle. *J Dairy Sci* 82: 1968–1977.
- Johnson HD, Kibler HH, Ragsdale AC, Berry IL, Shanklin MD. (1961). Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various

- temperature-humidity conditions. *J Dairy Sci.* 44: 1191-1123.
- Kennedy E, Lewis E, Murphy JP, Galvin N, O'Donovan M. (2015). Production parameters of autumn-calving cows offered either a total mixed ration or grazed grass plus concentrate during early lactation. *J Dairy Sci* 98: 7917–7929.
- Kennedy E, O'Donovan M, Murphy JP, Delaby L, O'Mara F. (2005). Effects of grass pasture and concentrate-based feeding systems for spring-calving dairy cows in early spring on performance during lactation. *Grass Forage Sci* 60: 310–318.
- Miron J, Adin G, Solomon R, Nikbachat M, Zenou A, Shamay A, Brosh A, Mabjeesh SY. (2008). Heat production and retained energy in lactating cows held under hot summer conditions with evaporative cooling and fed two rations differing in roughage content and in vitro digestibility. *Animal* 2: 843–848.
- Nicol AM, Young BA. (1990). Short-term thermal and metabolic responses of sheep to ruminal cooling - Effects of level of cooling and physiological state. *Can J Anim Sci* 70: 833–843.
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* . 7th. rev. ed. Washington, DC, USA, National Academy of Sciences p. 381.
- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017941>
- Reynolds CK, Lapierre H, Tyrrell HF, Elsasser TH, Staples RC, Gaudreau P, Brazeau P. (1992). Effects of growth hormone-releasing factor and feed intake on energy metabolism in growing beef steers: Net nutrient metabolism by portaldrained viscera and liver. *J Anim Sci* 70: 752.
- Susenbeth A, Dickel T, Südekum KH, Drochner W, Steingass H. (2004). Energy requirements of cattle for standing and for ingestion, estimated by a ruminal emptying technique. *J Anim Sci* 82: 129–136.
- Tapki I, Sahin A. (2006). Comparison of the thermoregulatory behaviours of low and high producing dairy cows in a hot environment. *Anim Behav Sci* 99: 1–11.
- Von Keyserlingk MAG, Olenick D, & Weary DM. (2008). Acute behavioral effects of regrouping dairy cows. *J Dairy Sci* 91(3): 1011-1016.
- West JW, Mullinix BG, Bernard JK. (2003). Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 86: 232–242.

Yan T, Gordon FJ, Ferris CP, Agnew RE, Porter MG, & Patterson DC. (1997). The fasting heat production and effect of lactation on energy utilisation by dairy cows offered forage-based diets. *Livest Prod Sci* 52(2): 177-186.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

4.1. DISCUSIÓN

A nivel mundial los sistemas de base pastoril han despertado interés ya que presentan ventajas para el medioambiente, el bienestar de los animales y la calidad del producto y beneficios económicos (menor costo alimentación que representa el 50 a 70% del costo de producción; Alqaisi et al. (2011) y menores costos de infraestructura) en comparación de otras dietas con altos porcentajes de concentrados y reservas forrajeras (Dillon, 2006). Sin embargo, hay investigaciones que señalan que vacas alimentadas con una dieta basada únicamente en forraje –pastoreo directo- no son capaces de cubrir los requerimientos de vacas de alta producción indicando necesitan energía de suplementos para mantener la producción de leche superior a 30 kg/d (Kolver y Muller, 1998). En la misma línea, Dillon et al. (2003) determinaron que vacas lecheras de alta producción en un sistema de pastoreo sin suplementación de concentrado tienen dificultades para mantener una CC adecuada a inicio de la lactancia debido a la movilización de reservas para mantener la alta producción. Es así que, los sistemas mixtos de producción con base pastoril surgen como una alternativa sustentable para la producción lechera.

En los sistemas lecheros de base pastoril el manejo reproductivo de las vacas se basa en partos y servicios estacionales para aprovechar las épocas de máxima producción de forraje (Durán, 1996). La estación o la fecha de parto afecta a la producción de leche por vaca y por hectárea tanto directa como indirectamente (García y Holmes, 1999) y tiene efectos importantes en el patrón de demanda de alimentos –pasturas, forrajes conservados y concentrados, así como en la producción de leche a lo largo del año. En nuestro país, los partos en otoño, se caracterizan por un desbalance entre una oferta de forraje de las pasturas y la demanda de nutrientes y energía –por aumento de la producción de leche inmediatamente posterior al parto - por parte de la vaca lechera. La disminución en la disponibilidad de forraje de las pasturas que determina reducciones en el consumo de MS de forraje verde (Chilibroste et al., 2012) está asociada a la baja tasa de crecimiento de las pasturas, así como a la reducción del área de la plataforma de pastoreo. En este contexto, se requiere de la suplementación

no solo con concentrados sino también el aporte de reservas forrajeras, justificando que el uso de pasturas con el aporte de DTM sea cada vez más frecuente en nuestro país. En contraste, durante la primavera ocurre el máximo crecimiento de las pasturas y se busca maximizar la utilización de la pastura, logrando altos consumos de MS de forraje verde sin disminuir la producción individual. Sin embargo, los bajos contenidos de MS y altos contenidos de PC total y degradable en rumen hacen que la inclusión del concentrado en las dietas de vacas lecheras de alta producción paridas en primavera permita lograr un mejor balance y utilización de la energía y proteína con el objetivo de optimizar la producción y la calidad de la dieta. El análisis de las curvas de lactancia (Chilibroste et al., 2002) sugiere que en los partos de otoño los esfuerzos de intervención deben concentrarse en los primeros meses de lactancia mientras que en partos de primavera debieran estar más focalizado en la segunda mitad de la lactancia (verano).

Es así que, en el presente trabajo se diseñaron dos experimentos – con vacas paridas en otoño y primavera - con el fin de evaluar la partición de EM consumida entre la HP y la ER de vacas Holando en pastoreo, utilizando diferentes estrategias de alimentación según la fecha de parto. El *experimento 1* que se desarrolló durante los primeros 60 días de lactancia con vacas Holando primíparas de partos en otoño, evaluó la inclusión del pastoreo en la dieta (pastoreo directo) + suplementación con dietas totalmente mezcladas (DTM; ofertada a 70% del consumo de DTM *ad libitum*; G1.E1) mientras que el *experimento 2* que se realizó durante la lactancia temprana (primavera; 0 a 113 ± 11 días de lactación) y media (verano; 114 a 180 ± 11 días de lactación) de vacas multíparas Holando paridas en primavera, evaluó el pastoreo más suplementación con concentrado basado en granos de cereales, expeller de girasol y de soja (primeros 100 días; 5,4 kgMS/d) o DTM (100 a 180 días; 67,3% de DTM en la dieta) (G1.E2). En ambos experimentos, la inclusión del pastoreo se comparó con vacas (primíparas o mutíparas, según correspondiera) alimentadas con 100% DTM *ad libitum* (G0.E1 y G0.E2. respectivamente). Esta última estrategia se consideró el control positivo ya que cuando utilizamos una DTM, la cantidad y la calidad de los nutrientes consumidos se pueden controlar, manipular y predecir con relativa precisión (Wales et al., 2013) y en la cual el consumo de MS no estaría limitado (Kolver y

Muller, 1998) y los costos energéticos de mantenimiento estarían minimizados (Dong et al., 2015 a,b; Bruinenberg et al., 2002; Dohme-Meier et al., 2014). Por lo tanto, debido a que el efecto de la inclusión del pastoreo vs. 100% DTM sobre la partición de la EM consumida fue evaluada en ambos experimentos en lactancia temprana, el presente capítulo comparará y discutirá los resultados obtenidos en este momento de lactancia.

Las diferencias entre estaciones (otoño vs. primavera) en la oferta de forraje de las pasturas se reflejó que en lactancia temprana la disponibilidad promedio (1300 vs. 2500 ± 490 kg MS/ha), asignación (20 vs. 30 kg MS/d y tiempo de acceso a la pastura (7 vs. 18 h), difiriera en el *experimento 1* vs. *2*. Esto determinó que en lactancia temprana, la pastura representara un menor porcentaje (26 vs. 73%) y el concentrado un mayor valor (45 vs. 27%) respectivamente del consumo total de MS en las vacas G1.E1 vs. G1.E2 (Ceriani et al., 2018, Ceriani et al., sin publicar). Sin embargo, no encontramos diferencias en el consumo de EM entre tratamientos en ninguno de los dos experimentos, ya que consumo de MS (Ceriani et al., 2018, Ceriani et al., sin publicar) y la concentración de EM dietas no difirió entre estratagias nutricionales en ninguno de los dos experimentos

Estos resultados contrastan con investigaciones previas (Bargo et al., 2002; Vibart et al., 2008; Kennedy et al., 2015; Fajardo et al., 2015) encontraron que vacas en pastoreo suplementadas con concentrados o DTM en lactancia temprana a media tienen menor CMS y por lo tanto de energía, que vacas alimentadas con 100% DTM o pastura más suplemento. Sin embargo, nuestros resultados están en línea con otros trabajos (Kennedy et al., 2005; Dall-Orsolleta et al., 2016) que reportaron que el consumo de MS total no se diferenció en vacas lecheras a las que se les ofreció pasturas de alta disponibilidad y calidad en comparación con vacas alimentadas con 100% DTM. La baja inclusión de pastura en la dieta de las vacas G1.E1 o la alta disponibilidad, asignación y calidad de la pastura en G1.E2 podrían explicar nuestros resultados.

Sin embargo, a pesar que la inclusión del pastoreo no afectó el consumo de EM en lactancia temprana en ninguno de los dos experimentos, en el *experimento 1*, la ER-leche, tejido y total fue menor en las vacas G1.E1 que G0.E1 mientras que el

experimento 2, la ER-leche fue mayor pero la ER-tejido fue menor para las vacas G1.E2 que G0.E2, determinando que no existieran diferencias en ER total entre tratamientos. En acuerdo con resultados anteriores (Bargo et al., 2002; Kennedy et al., 2005 y 2015), en ambos experimentos, la inclusión del pastoreo determinó mayor movilización de reservas corporales en lactancia temprana asociado a mayores requerimientos de mantenimiento (*experimento 1 y 2*) y lactancia (*experimento 2*). A su vez, la menor ER-leche con la inclusión del pastoreo observada en el *experimento 1* estuvo en línea con estudios anteriores que, observaron aumentos similares (5 a 19%) en la ER-leche cuando se comparó con vacas alimentadas 100% DTM vs. vacas en pastoreo suplementadas con DTM (Bargo et al., 2002; Fajardo et al., 2015; Meikle et al., 2013; Vibart et al., 2008). Sin embargo, la mayor producción y ER-leche de las vacas G1.E2 que G0.E2 en el *experimento 2*, podrían estar asociados a una baja concentración de PC en la DTM, el estrés dado por el parto y el cambio de ambiente productivo - adaptación a las nuevas instalaciones, cambio de dieta y reestructuración de los lotes generando nuevas estructuras sociales dentro de los corrales otro factor determinante y/o restricción en el consumo de MS ya que el rechazo de DTM durante este período fue menor al 5%.

En lactancia temprana, la HP - diaria y específica - no difirió entre estrategias nutricionales en ninguno de los dos experimentos. Sin embargo, la HP residual, estimada como la diferencia entre la HP medida y la HP predicha a partir del PV y la ER total utilizando los coeficientes NRC (2001) para el mantenimiento, km y kl, sin considerar el requerimiento de energía para la actividad (caminar + pastoreo), fue entre 50 y 60% mayor, en ambos experimentos, en las vacas en pastoreo (G1.E1 y G1.E2) que alimentadas con 100% DTM (G0.E1 y G0.E2). Esta mayor HP residual indicaría que la inclusión del pastoreo incrementó los costos energéticos de mantenimiento asociados a los costos de actividad de pastoreo y caminata, así como de digestión y metabolismo por un mayor porcentaje de forraje y pastura en la dieta (Bruinenberg et al., 2002; Agnew y Yan, 2000; Dohme-Meier et al., 2014). Dohme Meier et al. (2014) indicaron que el gasto de energía en vacas lecheras en pastoreo fue 19% mayor que en vacas estabuladas consumiendo la misma pastura, relacionando este mayor gasto a una mayor actividad física, asociado a un mayor tiempo destinado a comer, de hecho, hay

reportes que indican que el gasto de energía de las actividades -comer y caminar- es mayor que -descansar y rumiar- (Sunsanbeth et al., 1998, 2004). De hecho, en el presente trabajo, Ceriani et al. (sin publicar) determinó que las vacas G1.E1 y G1.E2 dedicaron entre 20 y 30% más tiempo a comer que las G0.E1 y G0.E2. Es así que, independientemente del experimento evaluado, la inclusión del pastoreo (G1.E1 y G1.E2) tendió a disminuir o disminuyó la eficiencia en el uso de la EM consumida (ER total/CEM) en 10% frente a vacas alimentadas con 100% DTM (G0.E1 y G0.E2). Esta disminución, asociada a los menores costos energéticos de mantenimiento, reflejó una mejor utilización del alimento transformándolo en producto - leche y tejido corporal.

A pesar de la mayor inclusión de pastura en la dieta en el *experimento 2* que en el *experimento 1*, el consumo de EM fue entre 15% mayor para las vacas del *experimento 2* que para las del *experimento 1*. Estos resultados estarían en línea con McEvoy et al. (2009) que han reportado un menor consumo de MS en vacas primíparas que multíparas en lactancia temprana. A su vez, estos autores reportaron una mayor movilización de reservas corporales en vacas primíparas en comparación con vacas multíparas. Asimismo, investigaciones previas a nivel nacional reportaron que las vacas primíparas paridas en otoño presentan mayor dificultad para recuperarse del balance energético negativo que se ve reflejado través del perfil metabólico y endócrino más desbalanceado (Meikle et al., 2004; Adrien et al., 2012), asociado al estrés que implica su primera lactancia. Sin embargo, en acuerdo con Whates et al. (2006), en el presente trabajo la movilización de reservas corporales fue menor en el *experimento 1* que en el *experimento 2* ya que, en lactancia temprana, mientras las vacas primíparas (*experimento 1*) estaban en mantenimiento o levemente positivo, las multíparas estaban en balance energético negativo. La menor movilización de reservas corporales en vacas primíparas ha sido explicado por su necesidades de crecimiento y desarrollo que se refleja en mayores concentraciones de hormonas anabólicas (ie. IGF-1; Whates et al., 2006). Posiblemente, el alto nivel suplemento del presente trabajo puedan explicar las diferencias entre este y otros trabajos nacionales.

El mayor consumo de MS y movilización de reservas se asoció a una mayor ER-leche (+7%) en las vacas del *experimento 2* que del *experimento 1*, en acuerdo con

la mayor producción de leche de vacas multíparas que primíparas (Meikle et al., 2004; Whates et al. 2006; Adrien et al., 2012), siendo la ER-leche determinante para la ER-total en ambos experimentos. Asimismo, la HP total, fue entre 25 y 30% mayor en el *experimento 2* que en el *experimento 1*. Esta mayor HP se explicó porque el O₂P del *experimento 2* fue entre 13 y 20% mayor que en el *experimento 1*, mientras que en la HR no se diferenció entre ambos experimentos, encontrándose en el rango de los 86 a 90 latidos/min. en acuerdo con lo reportado previamente (Aharoni et al., 2006, 2005; Brosh, 2007; Miron et al., 2008). Valores más altos de O₂P reflejan mayores tasas metabólicas. Es así que, mientras que el *experimento 2* estuvo en línea con investigaciones previas en vacas lecheras, que utilizaron misma la técnica de O₂P, (Aharoni et al., 2006, 2005; Miron et al., 2008), los valores de O₂P del *experimento 1* estuvieron en línea con las reportadas para vacas de baja producción (Aharoni et al., 2006), para vacas alimentadas con dietas con alto niveles de forraje (Dong et al., 2015b), o para vacas de carne (Brosh, 2007). Por otra parte, independientemente de las estrategias nutricionales, la estimación de la HP residual indicó que los requerimientos de mantenimiento fueron menores que los estimados por el NRC (2001) para en el *experimento 1* (valores de HP residual negativos) pero mayores para el *experimento 2* (valores de HP residual positivos). Esto determinó que la eficiencia de uso de la energía metabolizable para producción de leche, ajustada pro el cambio en las reservas corporales, fuera 20% mayor en el *experimento 1* que en el *experimento 2*. La paridad asociada a diferencias en producción de leche y consumo de MS, la estación de año (estrés térmico) y el porcentaje de pastura en la dieta pueden explicar las diferencias entre experimentos.

4.2. CONCLUSIONES

La inclusión de pastoreo en la dieta de vacas lecheras disminuyó en la eficiencia bruta, ajustada por cambios en las reservas corporales, en el uso de la EM consumida frente a vacas alimentadas con 100% DTM. Esta disminución se asoció a un aumento del 10-15% de la HP residual en relación al consumo de EM en las vacas en pastoreo, posiblemente explicado por un incremento en los requerimientos

energéticos mantenimiento debido al incremento de los costos de actividad, digestión y/o metabolismo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adrien ML, Mattiauda DA, Artegoitia V, Carriquiry M, Motta G, Bentancur O, Meikle A. 2012. Nutritional regulation of body condition score at the initiation of the transition period in primiparous and multiparous dairy cows under grazing conditions: milk production, resumption of post-partum ovarian cyclicity and metabolic parameters. *Animal*, 6(2): 292-299
- Agnew RE, Yan T. 2000. Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livestock Production Science* 66(3): 197-215.
- Aharoni Y, Henkin Z, Ezra A, Dolev A, Shabtay A, Orlov A, Yehuda Y, Brosh A. 2009. Grazing behavior and energy costs of activity: A comparison between two types of cattle. *Journal of Animal Science* 87(8): 2719-2731.
- Aharoni Y, Brosh A, Kafchuk E. 2006. The efficiency of utilization of metabolizable energy for milk production: a comparison of Holstein with F1 Montbeliarde x Holstein cows. *Animal Science* 82(1): 101-109.
- Aharoni Y, Brosh A, Harari Y. 2005. Night feeding for high-yielding dairy cows in hot weather: Effects on intake, milk yield and energy expenditure. *Livestock Production Science* 92(3): 207-219.
- Alqaisi O, Ndambi OA, Hemme T. 2011 Global view on feed cost and feed efficiency on dairy farms. *All About Feed magazine* 2(4):11- 4.
- Baldwin RL, McLeod KR, Capuco AV. 2004. Visceral tissue growth and proliferation during the bovine lactation cycle. *Journal of Dairy Science* 87(9): 2977–2986.
- Baldwin RL. 1995. Modeling ruminant digestion and metabolism. London, UK. Chapman and Hall, p. 585.
- Baldwin RL, Smith NE, Taylor J, Sharp, M. 1980. Manipulating metabolic parameters to improve growth rate and milk secretion. *Journal of Animal Science* 51(6): 1416-1428
- Bargo F, Muller LD, Delahoy JE, Cassidy TW. 2002. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 85(11): 2948–2963.
- Birkelo CP, Johnson DE, & Ward GM. 1986. Net energy value of ammoniated wheat straw. *Journal of Animal Science* 63(6): 2044-2052.

- Blaxter KL. 1967 Techniques in energy metabolism studies and their limitations. *Proceedings of the Nutrition Society* 26(1): pp. 86–96.
- Bondi A. 1989. *Nutrición Animal*. 1era Edición. Zaragoza, España, Editorial Acribia. p. 600.
- Brody S. 1945. *Bioenergetics and growth*. New York. EEUU. Reinhold Publishing Corp, pp. 1 – 58.
- Brosh A, Henkin Z, Ungar ED, Dolev A, Shabtay A, Orlov A, Yehuda Y, Aharoni Y. 2010. Energy cost of activities and locomotion of grazing cows: A repeated study in larger plots. *Journal of Animal Science* 88(1): 315–323.
- Brosh A. 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.
- Brosh A, Henkin Z, Orlov A, Aharoni Y. 2006. Diet composition and energy balance of cows grazing on Mediterranean woodland. *Livestock Science* 102(1-2): 11–22.
- Brosh A, Aharoni Y, Degen A, Wright D, Young BA. 1998. Effect of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. *Journal of Animal Science* 76 (10): 2671 – 2677.
- Bruinenberg MH, Van Der Honing Y, Agnew RE, Yan T, Van Vuuren AM, Valk H. 2002. Energy metabolism of dairy cows fed on grass. *Livestock Production Science* 75(2): 117–128
- Capper JL, Cady RA, & Bauman DE. 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *Journal of Animal Science* 87(6): 2160–2167.
- Ceriani M, Jasinsky A, Carriquiry M, Mattiauda D.A. 2018. Milk production, intake and ingestive behavior of Holstein cow fed total mixed ration or partial mixed ration in early lactation. *Journal of Dairy Science* 101, Suppl. 2, 218.
- Chilibroste P y Battegazore G. 2015. *Proyecto Producción Competitiva*. Montevideo, Conaprole, p. 31.

- Chilibroste P, Mattiauda D, Soca P, Bentancour O, Meikle A. 2012. Effect of herbage allowance on grazing behaviour and productive performance of early lactation primiparous Holstein cows. *Animal Feed Science and Technology* 173(3-4): 201-209
- Chilibroste P, Soca P, Mattiauda DA. 2011. Balance entre oferta y demanda de nutrientes en sistemas pastoriles de producción de leche: potencial de intervención al inicio de la lactancia. En: Centro Médico Veterinario de Paysandú. (Eds.) XV Congreso Latinoamericano de Buiatría, XXXIX Jornadas Uruguayas de Buiatría. Paysandú Uruguay, pp. 91-97.
- Chilibroste P, Naya H, Urioste JI. 2002. Evaluación cuantitativa de curvas de lactancia de vacas holando en Uruguay. 3. Implicancias biológicas de las curvas de producción multifásica. RAPA. páginas 358 - 359.
- Christison GI, & Milligan JD. 1974. A seven year study of winter performance of feedlot steers in western Canada. In *Proceeding of the International Livestock Environment Symposium* (pp. 296-300).
- Collin A, Van Milgen J, Dubois S, Noblet J. 2001. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. *British Journal of Nutrition* 86(1): 63-70.
- CSIRO. (2007). Nutrient requirements of domesticated ruminants. CSIRO publishing.
- DIEA 2015. (Dirección de Estadísticas Agropecuarias) Anuario Estadístico Agropecuario 2015. [En línea]. Montevideo: MGAP. 215p. 13 Consultado junio 2016. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx>.
- Di Marco ON, Aello MS. 2001. Energy expenditure due to forage intake and walking of grazing cattle (online). *Brazilian Arquivo de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 53(1): 105 - 110.
- Dillon, P., 2006. Achieving high dry-matter intake from pasture with grazing dairy cows. In: A. Elgersma, J. Dijkstra, S. Tamminga (Eds.). *Fresh Herbage for Dairy Cattle, The Key to a Sustainable Food Chain*. Springer, Dordrecht, the Netherlands. pp. 1-26
- Dillon P, Buckley F, O'Connor P, Hegarty D, Rath M. 2003. A comparison of different dairy cow breeds on a seasonal grass-based system of milk production. 1. Milk

- production, live weight, body condition score and DM intake. *Livestock Production Science* 83(1): 21-33.
- Dohme-Meier F, Kaufmann LD, Görs S, Junghans P, Metges CC, van Dorland HA, Bruckmaier RM, Mürger A. 2014. Comparison of energy expenditure, eating pattern and physical activity of grazing and zero-grazing dairy cows at different time points during lactation. *Livestock Science* (162): 86–96.
- Dong LF, Ferris CP, McDowell DA, Yan T. 2015a. Effects of diet forage proportion on maintenance energy requirement and the efficiency of metabolizable energy use for lactation by lactating dairy cows. *Journal of Animal Science* 98(12): 8846-8855
- Dong LF, Yan T, Ferris CP, McDowell DA. 2015b. Comparison of maintenance energy requirement and energetic efficiency between lactating Holstein-Friesian and other groups of dairy cows. *Journal of Animal Science* 98(2): 1136-1144.
- Durán H. (1996) Sistema 1: Alta producción de leche por hectárea. I. Resultados productivos de los ejercicios 1992-93-94. In: *Jornadas de Producción Animal: Lechería y Pasturas*. Uruguay. Serie Actividades de Difusión Nro 100. INIA. Pp. 1-15.
- Fajardo M, Mattiauda DA, Motta G, Genro TC, Meikle A, Carriquiry M, Chilbroste P. 2015. Use of mixed rations with different access time to pastureland on productive responses of early lactation Holstein cows. *Livestock Science* (181): 51–57.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2011. *World Livestock 2011; Livestock in Food Security*. Roma, Italia. s.e. 115 p.
- Fox DG, Tylutki TP. 1998. Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. *Journal of Animal Science* 81(11): 3085-3095.
- Gibb MJ, Ivings WE, Dhanoa MS, Sutton JD. 1992. Changes in body components of autumn-calving Holstein-Friesian cows over the first 29 weeks of lactation. *Animal Production* 55(3): 339-360.
- Gruber L, Susenbeth A, Schwarz FJ, Fischer B, Spiekers H, Steingass H, Meyer U, Chassot A, Jilg T, Obermaier A. 2007 Evaluation of the NEL system and

- estimation of energy requirements for dairy cows on the basis of an extensive data set from feeding trials. Pages 232–237 In: Proceedings of the 16th International Science Symposium on Nutrition of Domestic Animals. Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Ljubljana, Slovenia
- Herd R M, & Arthur PF. 2009. Physiological basis for residual feed intake 1. *Journal of Animal Science* 87 (14_suppl): E64-E71.
- Hurley AM, López-Villalobos N, McParland S, Lewis E, Kennedy E, O'Donovan M, Burke JL, Berry DP. 2016. Genetics of alternative definitions of feed efficiency in grazing lactating dairy cows. *Journal of Animal Science* 100(7): 5501-5514.
- INALE (Instituto Nacional de la Leche). 2014. Encuesta Lechera. [En línea]. Consultado junio 2016. Disponible en: <http://www.inale.org/innovaportal/v/3597/4/innova.front/encuesta-lechera-inale-2014.html>
- Jenkins TG, Ferrell CL. 1994 Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availabilities: 1: Initial evaluation. *Journal of Animal Science* 72(11): 2787-2797.
- Kaufmann LD, Münger A, Rérat M, Junghans P, Görs S, Metges CC, Dohme-Meier F. 2011. Energy expenditure of grazing cows and cows fed grass indoors as determined by the ¹³C bicarbonate dilution technique using an automatic blood sampling system. *Journal of Animal Science* 94(4): 1989-2000.
- Kennedy E, Lewis E, Murphy JP, Galvin N, O'Donovan M. 2015. Production parameters of autumn-calving cows offered either a total mixed ration or grazed grass plus concentrate during early lactation. *Journal of Animal Science* 98(11): 7917-7929
- Kennedy E, O'Donovan M, Murphy JP, Delaby L, O'Mara F. 2005. Effects of grass pasture and concentrate-based feeding systems for spring-calving dairy cows in early spring on performance during lactation. *Grass Forage Science* 60(3): 310-318.
- Kleiber M. 1975 *The Fire of life: An Introduction to Animal Energetics*. New York and London, John Wiley and Sons. p. 454

- Kolver ES, Muller LD. 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of Animal Science* 81(5): 1403–1411.
- McDonald, P; Edwards, R. A. Greenhalgh, J. F. D.; Morgan, C. A. 1999. *Nutrición Animal*, 5ta. ed. Zaragoza. Acribia. 576 p.
- 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.
- Meikle A, Cavestany D, Carriquiry M, Adrien M de L, Artegoitia V, Pereira I, Ruprecht G, Pessina P, Rama G, Fernández A, Breijo M, Laborde D, Pritsch O, Ramos JM, De Torres E, Nicolini P, Mendoza A, Dutour J, Fajardo M, Ana L, Olazábal L, Mattiauda D, Chilibraste P. 2013. Avances en el conocimiento de la vaca lechera durante el período de transición en Uruguay: un enfoque multidisciplinario *Advances in Knowledge of the Dairy Cow During the Transition Period in Uruguay: a Multidisciplinary Approach*. *Agrociencia Uruguay* 17(1): 141–152.
- Meikle A, Kulcsar M, Chilliard Y, Febel H, Delavaud C, Cavestany D, Chilibraste P. 2004. Effects of parity and body condition score at calving on endocrine and reproductive parameters of the dairy cow under grazing conditions. *Reproduction* 127(6): 727–737.
- Milligan LP, McBride BW. 1985. Energy costs of ion pumping by animal tissues. *The Journal of Nutrition* 115(10): 1374-1382.
- Miron J, Adin G, Solomon R, Nikbachat M, Zenou A, Shamay A, Brosh A, Mabweesh SY. 2008. Heat production and retained energy in lactating cows held under hot summer conditions with evaporative cooling and fed two rations differing in roughage content and in vitro digestibility. *Animal* 2(6): 843–848.
- Nicol AM, Young BA. 1990. Short-term thermal and metabolic responses of sheep to ruminal cooling - Effects of level of cooling and physiological state. *Can Journal of Animal Science* 70(3): 833–843.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* . 7th. rev. ed. Washington, DC, USA, National Academy of Sciences p. 381.

- Osuji PO. 1974. The physiology of eating and the energy expenditure of the ruminant at pasture. *Journal of Range Management* (27): 437–443.
- Puillet L, Réale D, Friggens NC. 2016. Disentangling the relative roles of resource acquisition and allocation on animal feed efficiency: Insights from a dairy cow model. *Genetics Selection Evolution* 48(1): 72.
- Reynolds CK, Lapierre H, Tyrrell HF, Elsasser TH, Staples RC, Gaudreau P, Brazeau P. 1992. Effects of growth hormone-releasing factor and feed intake on energy metabolism in growing beef steers: Net nutrient metabolism by portaldrained viscera and liver. *Journal of Animal Science* 70(3): 752.
- Smith NE, Baldwin RL. 1974. Effects of Breed, Pregnancy, and Lactation on Weight of Organs and Tissues in Dairy Cattle. *Journal of Animal Science* 57(9): 1055–1060.
- Tamminga S, Luteijn PA, Meijer RGM. 1997. Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. *Livestock Production Science* 52(1): 31–38.
- van der Drift SGA, van Hulzen KJE, Teweldemedhn TG, Jorritsma R, Nielen M, Heuven HCM. 2012. Genetic and nongenetic variation in plasma and milk β -hydroxybutyrate and milk acetone concentrations of early-lactation dairy cows. *Journal of Animal Science* 95(11): 6781–6787.
- VandeHaar MJ, Armentano LE, Weigel K, Spurlock DM, Tempelman RJ, Veerkamp R. 2016. Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency 1. *Journal of Animal Science* 99(6) 4941–4954.
- Vibart RE, Fellner V, Burns JC, Huntington GB, Green JT. 2008. Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *Journal of Dairy Research* 75(4) 471–480.
- Wales WJ, Marett LC, Greenwood JS, Wright MM, Thornhill JB, Jacobs JL, Ho CKM, Auldist MJ. 2013. Use of partial mixed rations in pasture-based dairying in temperate regions of Australia. *Animal Production Science* 53(11): 1167–1178.
- Wang YJ, Wood KM, Martin L, Holligan S, Kelly N, McBride BW, Fan MZ, Swanson KC. 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.
- Wenk C, Colombani PC, Milgen JV, & Lemme A. 2001. Glossary: Terminology in animal and human energy metabolism. In 5. Symposium on Energy Metabolism in Animals, Snekersten (Denmark), 11-16 Sep 2000. Wageningen
- Young BA. 1981. Cold Stress as it Affects Animal Production 1. *Journal of Animal Science* 52(1): 154-163.