

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN SOBRE
EL GASTO ENERGÉTICO EN VACAS LECHERAS**

por

**Damián DAVYT PASTRE
Daniel TALMÓN TRAVERS
Álvaro VILLANUEVA CURBELO**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2017**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. PhD. Mariana Carriquiry

Ing. Agr. MSc. Diego Mattiauda

Lic. Alejandra Jasinsky

Fecha: 4 de setiembre de 2017

Autores:

Damián Davyt Pastre

Daniel Talmón Travers

Álvaro Villanueva Curbelo

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias y amigos, que de alguna u otra forma representaron un gran apoyo a lo largo de la carrera y para que este trabajo pudiera llevarse a cabo.

A los directores de tesis Mariana Carriquiry, Diego Mattiauda y Alejandra Jasinsky por su tiempo brindado, atención y dedicación durante todo el proceso de elaboración del trabajo.

A funcionarios de la EEMAC y en especial al grupo de lechería por el apoyo y la predisposición para realizar el trabajo de campo.

A Sully Toledo, por su veloz ayuda en la corrección de la formalidad en el trabajo que permitieron su presentación en tiempo y forma.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. <u>CONCEPTOS DE BIOENERGÉTICA</u>	2
2.1.1. <u>Demanda de energía de los animales</u>	2
2.1.2. <u>Aportes de energía para los animales</u>	4
2.1.3. <u>Eficiencia en el uso de la energía</u>	5
2.1.3.1. <u>Eficiencia de utilización de la EM</u>	6
2.2. <u>ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN Y GASTO ENERGÉTICO EN BOVINOS</u>	7
2.3. <u>ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN EN LACTANCIA TEMPRANA Y RESPUESTA PRODUCTIVA DE VACAS LECHERAS</u>	8
2.4. <u>MÉTODO DEL PULSO O₂ PARA LA DETERMINACIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO</u>	12
2.4.1. <u>Fundamento</u>	12
2.4.2. <u>Ventajas del método pulso de O₂</u>	13
2.4.3. <u>Factores que afectan la estimación del gasto energético</u>	13
2.4.4. <u>Validación del método pulso de O₂ mediante ensayos de balance energético</u>	16
2.5. <u>HIPÓTESIS</u>	17

3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	18
3.1. LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL.....	18
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL ANIMALES Y TRATAMIENTOS	18
3.3. MANEJO	18
3.4. DETERMINACIONES.....	19
3.4.1. <u>En los animales</u>	19
3.4.2. <u>Alimentos</u>	21
3.4.3. <u>Análisis de laboratorio</u>	21
3.4.4. <u>Cálculos</u>	21
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	26
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	27
4.1. CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DIETAS	27
4.2. PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE.....	28
4.3. PESO VIVO Y CONDICIÓN CORPORAL	34
4.4. BALANCE DE ENERGÍA.....	36
5. <u>CONCLUSIONES</u>	44
6. <u>RESUMEN</u>	45
7. <u>SUMMARY</u>	46
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	47

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Referencias sobre cálculos	25
2. Ingredientes y composición química de la dieta totalmente mezclada (DTM), suplemento y pastura (<i>Festuca arundinacea</i>)	28
3. Efecto de la estrategia de alimentación en la producción y composición de leche a los 37 y 72 días de lactancia	33
4. Consumo, producción total de calor, energía retenida, requerimientos energéticos, eficiencia y balance energético	38
5. Estimación de la producción total de calor según tratamiento para cada período.....	40
Figura No.	
1. Partición de la energía consumida.....	4
2. Utilización de la energía metabolizable.....	6
3. Rutina de manejo de las vacas alimentadas Con pastoreo + suplemento (T1, a) y con DTM (T2, b).....	19
4. Protocolo experimental.....	19
5. Producción de leche según tratamiento a los 37 y 72 ± 11 días de lactancia (a) y en función de la semana de lactancia (b).....	29

6. Energía neta en leche según tratamiento en cada período.	31
7. Evolución de la condición corporal (a) y evolución del peso vivo para cada tratamiento (b).....	35
8. Energía retenida en tejido corporal según tratamiento (DPP).	36
9. Evolución de la frecuencia cardíaca y la producción total de calor a lo largo del día según tratamiento.....	41
10. Producción total de calor en función al consumo de energía metabolizable.....	43

1. INTRODUCCIÓN

La población mundial crecerá de 7,2 a 9,6 billones en 2050 mientras que los recursos naturales necesarios para apoyar la producción mundial de alimentos y la provisión de servicios de la agricultura no crecerán. Este crecimiento de la población, los ingresos crecientes y la urbanización se combinan para plantear desafíos sin precedentes a los sistemas alimentarios y agrícolas. Impulsadas por la fuerte demanda de una clase media mundial emergente, las dietas se harán más ricas y cada vez más diversificadas, y el crecimiento de los alimentos de origen animal será particularmente fuerte; la demanda de carne y leche en 2050 se proyecta que crecerá en 73 y 58 %, respectivamente de sus niveles en 2010. Las caídas de la productividad tendrán serias consecuencias para la seguridad alimentaria. La escasez de suministros alimentarios dará lugar a una elevación importante de los precios de los alimentos, mientras que la mayor variabilidad del clima tendrá como resultado un aumento de la volatilidad de los precios (FAO, 2016).

Bajo este escenario mundial, es que la lechería uruguaya se ha desarrollado en las últimas décadas y aparentemente continuará haciéndolo. Esto exige que nuestros sistemas de producción mantengan un alto nivel de competitividad, con bajos costos, como el que han presentado a nivel mundial hasta el momento (IFCN, 2014). La participación relativamente alta del forraje en la dieta (cosecha directa más reservas), es lo que explica que el costo de producción de los sistemas lecheros uruguayos sea relativamente bajo. Sin embargo, la eficiencia de producción, uno de los componentes que más define la competitividad y resiliencia de los sistemas, en nuestros sistemas es baja comparada con otros sistemas lecheros pastoriles (Chilibroste y Battegazore, 2015). Esto hace que entender los componentes que influyen en la eficiencia de conversión a nivel individual y del sistema de producción sea clave para de lechería uruguaya. Asimismo, con el fin de estimar correctamente las demandas de energía de vacas lecheras, datos adicionales sobre el gasto energético en pastoreo a lo largo de la lactancia son necesarios. Por este motivo es que el presente trabajo tiene como objetivo general la cuantificación de los componentes de la eficiencia y uso de la energía de vacas lecheras manejadas bajo dos sistemas de alimentación diferentes (pastoreo vs. estabulación) durante la lactancia temprana. Como objetivos específicos se plantea evaluar el efecto de las diferentes estrategias de alimentación en la lactancia temprana (DTM vs. pastoreo + suplemento) sobre el gasto energético de vacas multíparas paridas en primavera, y a su vez contemplar la variación de este último en lactancia temprana. Además, se aprovechará para comparar los gastos energéticos determinados por el método del pulso de O₂ con los estimados a partir de los sistemas de alimentación internacionales.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCEPTOS DE BIOENERGÉTICA

El término “bioenergética” refiere a la economía energética de los organismos vivos (Nagy, 1989). Debido a que todas las reacciones químicas involucran cambios de energía, la bioenergética podría aplicarse válidamente a todas las ciencias biológicas. Sin embargo, en el campo de la bioquímica y biología, el término originalmente proviene del estudio del proceso de conservación de energía que ocurre sobre, dentro, a través de la membrana interna mitocondrial, las membranas citoplasmáticas, y las membranas tilacoidales fotosintéticas que se encuentran en los cloroplastos de las plantas; éstas comprenden las denominadas membranas de conservación de energía (Nicholls y Ferguson, 2013).

La energía puede definirse como la capacidad para realizar trabajo, existen distintas formas de energía como química, térmica, eléctrica y radiante, todas ellas interconvertibles por medios adecuados. Por ejemplo, la energía radiante del sol se utiliza por los vegetales para producir sustancias complejas, quedando almacenada de este modo (McDonald, 1999).

2.1.1. Demanda de energía de los animales

Los animales precisan los principales nutrientes orgánicos para emplearlos en la formación de tejidos corporales, síntesis de productos como la leche y como fuente de energía para los trabajos que realizan. Como fue señalado por Brody (1945) vivir es un proceso costoso. La circulación, respiración, excreción y la tensión muscular nunca cesan mientras la vida continua, incluso bajo condiciones de absoluto reposo. Es por esto que en los animales sometidos a ayuno, la energía necesaria para dichas funciones se obtiene catabolizando las reservas orgánicas, en primer lugar el glucógeno, después las grasas y, por último, las proteínas, dicha energía corresponde a la requerida para mantener activo el metabolismo basal.

Cuando los animales son alimentados la demanda primaria de energía es para cubrir las necesidades de mantenimiento del organismo, evitando el catabolismo de sus propios tejidos (McDonald, 1999). La energía requerida para el mantenimiento incluye: el metabolismo basal, la actividad voluntaria del animal y la termorregulación. Los gastos por mantenimiento se estiman como una proporción del peso metabólico ($PV^{0.75}$) de cada animal. Sin embargo, varían entre otros factores de acuerdo a la actividad metabólica y la masa

relativa de los órganos y tejidos, la composición corporal que serán variables según la raza, estado fisiológico, nivel nutricional y producción (NRC, 2001).

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% con respecto a la de animales confinados y que una parte importante del incremento energético debido a la colecta de forraje corresponde al costo de caminar y trasladarse. A su vez Havstad y Malachuk (1982) reportaron que el gasto energético de vaquillonas en pastoreo fue un 46% superior a vaquillonas en confinamiento consumiendo el mismo forraje. El modelo NRC (2001) incrementa los requerimientos de energía neta de mantenimiento (EN_m) para vacas lecheras en pastoreo, debido a la actividad extra generada principalmente por la distancia entre la sala de ordeño y la pastura así como también a la caminata en diferentes topografías.

2.1.2. Aportes de energía para los animales

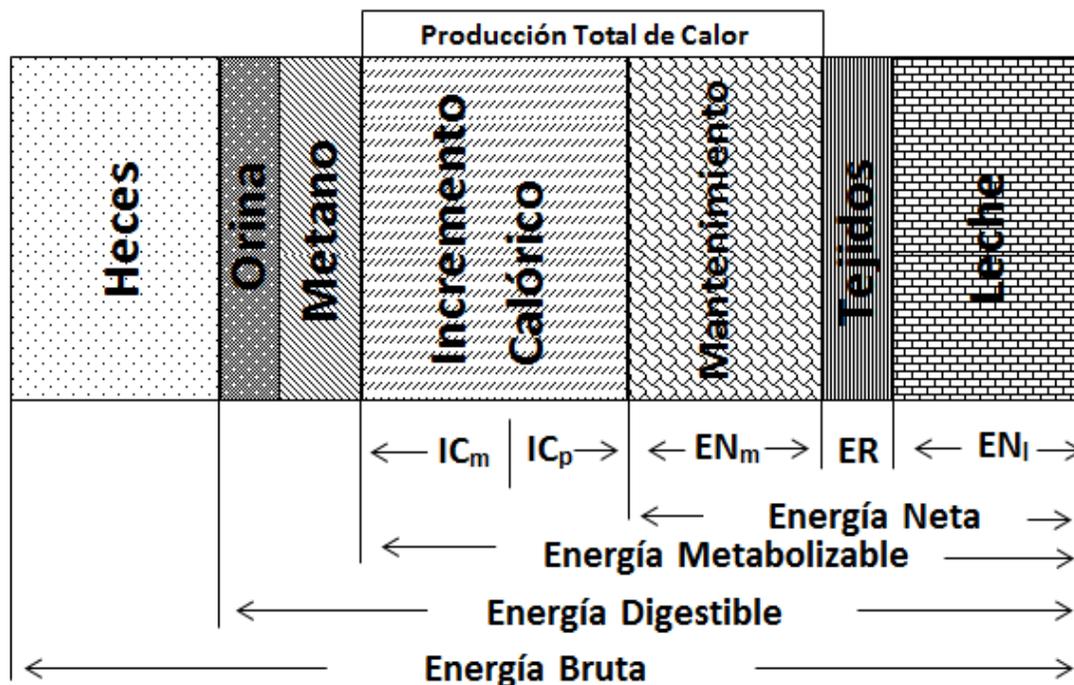


Figura 1. Partición de la energía consumida.

Fuente: adaptado de Brosh.¹

La energía total consumida se denomina energía bruta (EB) y se define como la cantidad de calor liberado cuando una unidad de material es completamente oxidada por medio de combustión completa dentro de una bomba calorimétrica. La energía total consumida no toda es utilizada, ya que parte del alimento no se digiere y se pierde en las heces, una vez descontada esta parte se denomina energía digestible (ED). Descontando de la ED la energía perdida en gases y orina se obtiene la energía metabolizable (EM). Por último, para conocer la energía neta que dispone el animal, ya sea para mantenimiento (EN_m), producción de leche (EN_l) o ganancia en tejido corporal (ER), se debe descontar de la EM el incremento calórico (IC), el cual es conocido como el incremento de la producción de calor por encima del nivel representado por el metabolismo basal si el animal es alimentado (Figura 1). El incremento calórico es la cantidad de calor liberado debido a los costos energéticos de los procesos digestivos y metabólicos. Por lo tanto, el IC varía considerablemente dependiendo de la naturaleza del alimento, la especie que

¹ Brosh. 2015. Técnica del pulso de oxígeno. In: Eficiencia energética de rumiantes en pastoreo (2015, Montevideo, Uruguay). Texto (sin publicar).

consume dicho alimento y el proceso para el cual los nutrientes son utilizados. El IC no es usado para procesos productivos pero puede ser usado para mantener la temperatura corporal en ambientes fríos (Wenk et al., 2001).

2.1.3. Eficiencia en el uso de la energía

Brody (1945), 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 dividida por la diferencia entre la EB y la ENm 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 EB que es retenida y transformada en producto animal. 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 de 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 la vacas lecheras ya que altos niveles de producción de leche se han asociado a disminuciones en la eficiencia reproductiva, salud y longevidad, además 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 determinan es razonable considerar la eficiencia a nivel de la vaca individual (VandeHaar et al., 2016). A pesar de conocer manejos 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., 2015).

Siendo la energía el principal factor limitante en la performance animal en los sistemas uruguayos, es relevante hacer un uso eficiente de la misma. Los animales más eficientes son aquellos que consumiendo una determinada

cantidad de energía presentan una mejor performance productiva, como consecuencia de una menor producción total de calor.

2.1.3.1. Eficiencia de utilización de la EM

En la Figura 2 se expone la relación general existente entre la ingestión de EM por un animal y su retención de energía. Si la ingestión de EM es cero (es decir, el animal está en ayuno), la retención de energía es negativa; en esta situación, el animal utiliza sus reservas para proporcionar energía para el mantenimiento de sus funciones corporales esenciales, y esta energía es liberada del animal en forma de calor. A medida que aumenta la ingestión de EM, la pérdida de energía (es decir, la retención negativa) disminuye; 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, bien en sus tejidos corporales, o en productos como la leche.

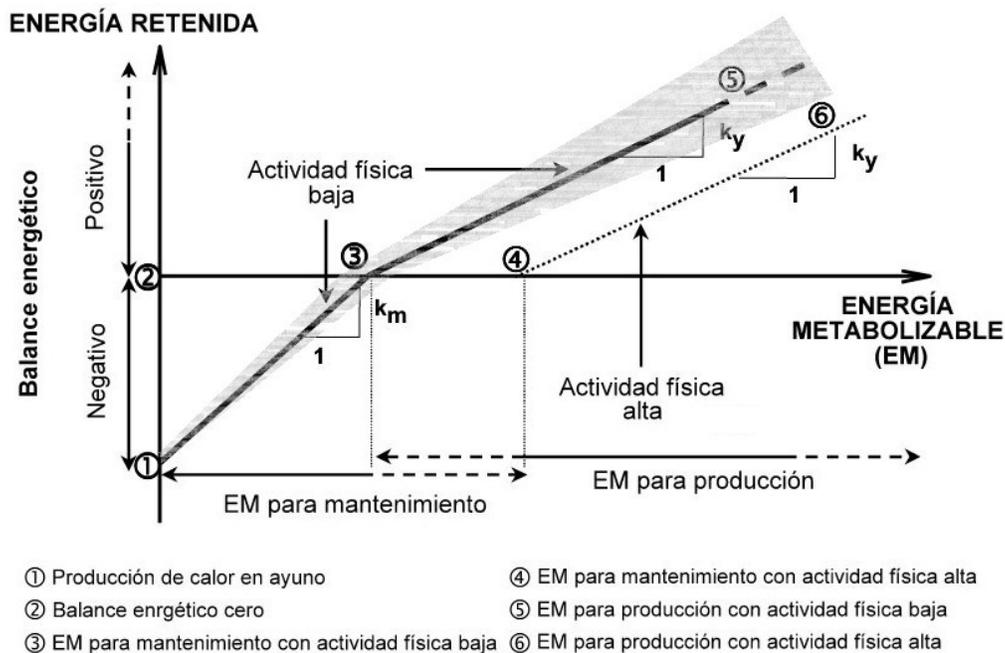


Figura 2. Utilización de la energía metabolizable

Fuente: adaptado de Wenk et al. (2001)

La pendiente de la línea que relaciona la retención con la ingestión, es una medida de eficiencia de utilización de la EM. La pendiente de la misma cambia a nivel de mantenimiento, haciéndose menos inclinada, lo que indica una reducción en la eficiencia. Existe cierta controversia entre los

investigadores 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. Otra característica de la Figura 2 se refiere a la zona sombreada a cada lado de las líneas. Se pretende indicar que la eficiencia de utilización de la EM es variable. Las causas principales de dicha variación son, en primer lugar, la naturaleza de los compuestos químicos en que está contenida la EM (dependen del tipo de alimento y la manera que es digerida) y, en segundo lugar, de la función para que se utilizan dichos compuestos por el animal.

2.2. ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN Y GASTO ENERGÉTICO EN BOVINOS

Kaufmann et al. (2010) evaluaron el gasto energético durante 6 horas por día de vacas lecheras Holando en lactancia temprana (38 días promedio) reportando que vacas en pastoreo tuvieron un gasto energético 21% mayor al de las vacas consumiendo la misma pastura pero en estabulación. Estos autores indicaron además, una correlación positiva entre el gasto energético con la caminata o el tiempo comiendo, lo cual indica que el mayor requerimiento de energía de vacas en pastoreo podría deberse en parte a la mayor actividad física de estos animales. Sin embargo, no encontraron diferencias en el CMS ni en producción de leche entre ambos tratamientos, afirmando que existen inconsistencias con respecto al resultado obtenido en gasto energético y sugiriendo que debería evaluarse si estos resultados obtenidos con 6 horas de medición son extrapolables a las 24 horas del día. A su vez, Dohme-Meier et al. (2014) midiendo el gasto energético en tres etapas de la lactancia (38, 94 y 171 días) reportaron que el gasto energético era 19% mayor en vacas en pastoreo en relación a vacas en estabulación en lactancia temprana. Además, reportaron en esta etapa similar producción de leche entre tratamientos pero un consumo menor de vacas en pastoreo vs. estabuladas consumiendo la misma pastura suministrada mediante corte, indicando que las primeras movilizaron reservas para cubrir los gastos adicionales de energía.

Por otra parte, Bruinenberg et al. (2002) comprobaron que la performance productiva de las vacas en pastoreo con suplemento es a menudo menor a la esperada según la estimación de la oferta energética. Estos autores estiman que los requerimientos de mantenimiento son 10% superiores a los que se asumen actualmente, debido principalmente al costo asociado al metabolismo y excreción de excesos de nitrógeno, además del costo de caminata y actividad de pastoreo, esto último no evaluado en dicho trabajo.

Esta diferencia es aún mayor si la proporción de forraje en la dieta aumenta a más de 80 o 90 %.

Brosh et al. (2006b) trabajando con vacas de carne en pastoreo mostraron que el gasto energético fue afectado por varios factores interdependientes aparte de la actividad, incluyendo la estación del año (diferentes características de la pastura y estados fisiológicos de la vaca), carga animal y genotipo de la vaca de cría. A su vez indicaron que el costo por pastoreo en el día varió de 38 a 74 kJ/kgPV^{0,75} lo que representa 5.8 a 11.4% del gasto total de energía diario, costo que se incrementa cuando la calidad de la pastura disminuye. Reafirmando estos resultados, Aharoni et al. (2009) también en vacas de carne midieron el costo por actividad de pastoreo en relación al gasto energético total, donde obtuvieron valores de 8,3 a 10,7%.

Di Marco y Aello (2001) trabajando sobre el gasto energético en pastoreo con novillos Aberdeen Angus, mostraron 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 pastoreando. A su vez destacan que el costo de caminata puede tener un efecto de poca importancia en los requerimientos energéticos de vacunos en pastoreo siendo 37,7 y 66,9 kJ/100kgPV para transitar 1 km en plano y en pendiente de 6% respectivamente, siendo estos valores menores a los usados tradicionalmente de 188,3 a 251 kJ/100kgPV (Osuji 1974, ARC 1980, CSIRO 1990).

2.3. ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN EN LACTANCIA TEMPRANA Y RESPUESTA PRODUCTIVA DE VACAS LECHERAS

En las últimas décadas tanto a nivel nacional como internacional se han evaluado diferentes estrategias de alimentación en base a una dieta totalmente mezclada (DTM) y combinaciones de pastoreo con suplemento en lactancia temprana sobre las respuestas productivas de vacas lecheras. Kolver y Muller (1998) encontraron un incremento en producción de leche (49%) y CMS total (23%) en vacas alimentadas con DTM en comparación con 100 % pastura, por lo que concluyeron que vacas lecheras de alta producción en pastoreo necesitan energía de suplementos para mantener la producción de leche superior a 30 kg/d. Bargo et al. (2002) trabajando con vacas Holando en lactancia temprana a media evaluaron el impacto de diferentes estrategias de alimentación, las cuales fueron 100% alimentación DTM, pastura más DTM y pastura más concentrado. Los resultados indicaron que la estrategia 100% DTM maximizó el CMS y producción de leche, reflejándose en un aumento de 19 y

33% respectivamente en comparación a las restantes estrategias. Por último, estos autores concluyeron que la performance productiva animal se vio mejorada al combinar pastura con DTM en comparación a pastura más concentrado. La producción de leche en los sistemas de alimentación que combina pastura con DTM fue intermedia entre los sistemas de alimentación DTM y pastura más concentrado, pero logrando una performance productiva más semejante a la estrategia de pastoreo.

De manera similar, Bargo et al. (2003) recopilando información existente sobre estrategias de alimentación en vacas lecheras reportaron que en condiciones de pastoreo las vacas tienen menor CMS que vacas con DTM o pastura más suplemento. A su vez afirman que suministrar concentrado a una dieta de solo pastura incrementó un 24% el CMS total, 22% la producción de leche y 4% la concentración de proteína en leche, mientras que la concentración de grasa disminuyó 6%. Coincidiendo con estos resultados, White et al. (2002) obtuvieron un aumento de 11,1% en producción de leche para vacas en confinamiento frente a la estrategia de pastoreo, pero los menores costos indicaron que los sistemas pastoriles pueden ser competitivos con los sistemas de confinamiento.

La reducción en producción de leche de las vacas en pastoreo respecto a la DTM podría estar explicada en un 61% por el menor CMS, según el sistema de predicción de Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS). 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 condición corporal (**CC**) adecuada a inicio de la lactancia, debido a la movilización de reservas para mantener la alta producción.

Soriano et al. (2001) evaluaron dietas 100% DTM y dos estrategias de pastoreo más DTM difiriendo si esta se suministraba en la mañana o en la tarde. Los resultados encontrados muestran que ante un mismo tiempo asignado para comer la DTM o pastorear, siempre el CMS de DTM es relativamente mayor al de forraje, representando entre un 66 y 76% del CMS total. Comparando las tres estrategias de alimentación el mayor CMS total y producción de leche se obtuvo con 100% DTM. Resultados similares fueron obtenidos por Vibart et al. (2008), los cuales indicaron que al reducir la proporción de DTM en la dieta aumenta el CMS de pastura pero disminuye el CMS total. A su vez, aunque la producción de leche y proteína se incrementó con el aumento de DTM en la dieta, una DPM conteniendo 41% de forraje fresco resultó en una performance similar a la dieta 100% DTM cuando se analiza en el total de la lactancia, pero con una mayor eficiencia de conversión que esta última.

Más recientemente, a nivel nacional Acosta et al. (2010) encontraron un aumento de 61% en el CMS total en vacas en encierro permanente en relación a las vacas en pastoreo y un 30% en comparación a las vacas que pastoreaban durante el día y en la noche se encontraban en confinamiento. Este aumento en el CMS se vio reflejado en la producción de leche, la cual se incrementó en un 41% con respecto a las vacas en pastoreo y un 15% al restante tratamiento. Además este trabajo demostró un efecto residual en la producción de leche una vez que culminó el manejo diferencial en la alimentación de los animales, siendo 13% para las vacas que alternaban pastoreo y encierro, y un 15% para las vacas de encierro permanente.

Mendoza et al. (2012) trabajando con vacas Holando reportaron que las vacas que no consumieron pastura presentaron un consumo 8% mayor a las que disponían de la pastura suministrada mediante corte mecánico durante 8 horas, reflejándose en un aumento de 5% en la producción de leche. Además concluyeron que el tiempo de acceso (4 o 8 horas) a la pastura influyen tanto en la producción de leche como en la de sólidos, pero no afecta la composición de la leche en comparación con las vacas alimentadas con 100% DTM.

Fajardo et al. (2015) concluyeron que vacas en lactancia temprana alimentadas con DTM tuvieron mayor producción (10%) y un 6% más de energía excretada en leche que vacas en pastoreo más suplemento, además vacas alimentadas con 9 horas de pastoreo más suplemento en dos turnos tuvieron un mayor CMS de forraje que vacas pastoreando en un único turno de 6 horas, pero no tuvieron diferencias en la performance productiva, debido probablemente a los mayores requerimientos energéticos asociados a la actividad de pastoreo. Confirmando esto Astessiano et al. (2015) basados en el mismo ensayo determinaron mayor demanda de energía neta en las vacas de 9 horas de pastoreo en comparación a las de 6 horas y las alimentadas con DTM, a su vez estas últimas presentaron una mayor probabilidad de encontrarse ciclando a los 30 días post-parto. En este mismo trabajo analizando los perfiles endocrinos metabólicos concluyeron que vacas con diferentes estrategias de alimentación durante lactancia temprana provocan cambios en la salida energética en producción y el balance energético así como también en la actividad de pastoreo y caminata.

En la misma línea, Fontaneli et al. (2005) estudiaron la respuesta metabólica y productiva de vacas lecheras manejadas en dos sistemas basados en pasturas utilizando suplementación con concentrado comparados con una estrategia de DTM. Los resultados mostraron mayor producción de leche (19%) para las vacas alimentadas con DTM durante las 37 semanas post-parto. Durante las primeras semanas post-parto, las vacas en pastoreo perdieron dos veces más peso que las vacas con DTM, y además presentaron menor

concentración de glucosa en sangre y mayor de ácidos grasos no esterificados. Resultados similares encontraron Sprunck et al. (2012) donde las vacas alimentadas con DTM tuvieron una producción de leche 31% mayor que vacas en pastoreo.

Miron et al. (2008) evaluaron dos estrategias de DTM, las cuales difirieron en su digestibilidad debido principalmente al contenido de FDN del forraje en el total de la dieta. La DTM experimental tuvo 12% de FDN y un 78.6% de digestibilidad, mientras que la DTM control 18% y 75.3%, respectivamente. Los resultados indicaron que vacas alimentadas con la DTM experimental tuvieron una producción de leche 5,5% mayor explicada por un mayor CMS (7%), además tuvieron un incremento en la energía retenida en leche y tejido corporal en comparación al grupo control, pero las dietas no tuvieron efecto en la producción de calor por vaca.

Sin embargo, Kennedy et al. (2005) no reportaron diferencias en producción de leche ni CMS diario en vacas 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. Si bien estos autores no encontraron diferencias significativas en producción de leche ni CMS diario, las vacas en pastoreo tuvieron mayor producción y concentración de proteína en leche, mientras que las alimentadas con DTM tuvieron mayor peso vivo (PV) y concentración de grasa en leche. Kennedy et al. (2005) sugirieron que un ligero aumento en la performance puede ser alcanzado por un sistema que ofrece una alta disponibilidad de forraje diario a vacas de parto de primavera en lactancia temprana comparado con un sistema DTM con alta proporción de concentrado.

McEvoy et al. (2008) llevaron a cabo un experimento con la finalidad de determinar los efectos de la asignación de forraje y nivel de suplementación en el CMS y la producción de leche y observaron que las vacas pastoreando una menor asignación de forraje presentaron un menor consumo de forraje y MS total. A su vez la suplementación con concentrados durante la lactancia temprana incrementó el CMS total resultando así en un incremento inmediato en la producción de leche. Resultados similares a los anteriores fueron confirmados por Kennedy et al. (2007) donde además reportaron un aumento en la producción total de la lactancia.

Chilibroste et al. (2012) concluyeron que la asignación de forraje diaria durante la lactancia temprana juega un rol importante en la performance de vacas primíparas, al aumentar la asignación de 7,5 kgMS/vaca/día a 30 kgMS/vaca/día se incrementó un 27% la producción de leche diaria, aunque la mayor respuesta se obtuvo con el aumento desde 7,5 a 15 kgMS/día/vaca (0,43 vs. 0,19 litros/kg de MS de forraje asignado). Sin embargo, si bien aumentar la

asignación de forraje de 15 a 30 kgMS/vaca/día no tuvo efectos en la performance productiva se logró una mejoría en el status endocrino metabólico de las vacas, demorando menos días en reiniciar la ciclicidad ovárica posparto. Por otro lado, una baja asignación de forraje (7.5 kgMS/vaca/día) resultó en un retraso en la ovulación, y un pobre status endócrino metabólico y evolución de la CC a lo largo del experimento (Meikle et al., 2013).

Como conclusión general, las vacas alimentadas con DTM durante el inicio de la lactancia comparadas con vacas que pastorean presentan un mayor CMS y producción de leche, así como también una menor pérdida de PV y CC.

2.4. MÉTODO DEL PULSO O₂ PARA LA DETERMINACIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO

2.4.1. Fundamento

Es un método para la medición de la producción de calor y energía retenida basado en calorimetría indirecta. Brosh et al. (2006a) basaron el fundamento de la técnica en la relación estequiométrica entre el consumo de oxígeno (VO₂) y la producción de calor, y en el hecho de que prácticamente la totalidad del oxígeno consumido pasa desde los pulmones al cuerpo a través del corazón.

A través de este método es posible estimar la energía retenida y la energía en los productos animales calculando la diferencia entre el consumo total de energía metabolizable (CEM) y el gasto energético bajo condiciones de libre pastoreo.

$$\text{CEM} = \text{ER} + \text{PTC}$$

El método pulso O₂ tiene la capacidad de estimar el gasto energético para cortos períodos de tiempo, por lo tanto es adecuado para evaluar el efecto de actividades puntuales del animal como lo son la caminata, pastoreo, consumo y comportamiento social (Brosh et al., 2006b)

A su vez con el gasto energético calculado por el método pulso de O₂ y calculando la energía retenida en la leche y los cambios en condición corporal para vacas lecheras se puede determinar la eficiencia energética individual sin la necesidad de medir su consumo individual (Aharoni et al., 2006). Además, Brosh y Aharoni (2005) habían planteado la hipótesis, con el apoyo de mediciones preliminares que una disminución del gasto energético en relación a la producción de un animal es la medida más promisoría de mejorar la eficiencia

de un animal, y ellos sugirieron que la selección de animales y la determinación de sus eficiencias sean basadas en mediciones del gasto energético residual, el cual es similar al consumo residual de alimento.

Por otra parte el monitoreo continuo de la frecuencia cardíaca en animales puede ser usado como una herramienta en la gestión del rodeo y como un detector temprano de problemas de salud.

2.4.2. Ventajas del método pulso de O₂

Como fue mencionado anteriormente el método pulso de O₂ es adecuado para evaluar el efecto de actividades puntuales del animal, esta característica lo destaca frente a otros métodos como el de agua doblemente marcada (Nagy, 1989), consumo de O₂ por intubación traqueal (Young y Webster, 1963) o el método de infusión de bicarbonato marcado con C¹⁴ (Corbett et al. 1971, Young y Corbett 1972) que solo permiten la estimación del gasto energético para periodos de tiempo de como mínimo un día o más.

A su vez, el método pulso O₂ presenta considerables ventajas frente a los métodos de regresión (Henderson y Prince 1914, Brody, citado por Webster 1967) para estimar el gasto energético de animales en pastoreo. El mismo elimina la necesidad de calibrar la frecuencia cardíaca con el gasto energético durante el ejercicio. Además, ya que la principal variable que afecta el gasto energético en bovinos es la concentración de energía metabolizable en la dieta y, consecuentemente, el consumo total de EM, el método de regresión es más propenso a introducir un sesgo en la estimación cuando la calibración no es llevada a cabo bajo las mismas condiciones nutricionales que el experimento. El efecto de la concentración de EM en la dieta en el pulso O₂ es relativamente bajo, y por lo tanto, el método pulso de O₂ es significativamente menos susceptible que el método de regresión a cambios en la concentración energética de la dieta (Brosh et al., 2007).

2.4.3. Factores que afectan la estimación del gasto energético

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

Los patrones diarios de frecuencia cardíaca y gasto energético en animales de confinamiento dependen principalmente de la rutina horaria de

consumo (Brosh et al. 1998a, 2001, Shargal et al. 2001, Arieli et al. 2002, Barkai et al. 2002, Aharoni et al. 2003, 2005), pero las mediciones con vacas en pastoreo han demostrado que esos patrones también dependen de otras actividades (Brosh et al., 2003, 2006b). Por lo tanto, el cálculo del gasto energético diario debería estar basado en mediciones de frecuencia cardíaca llevadas a cabo durante las 24 horas de varios días consecutivos (3 a 4 días enteros), obteniendo así un promedio representativo de la frecuencia cardíaca diaria mínimamente sesgado (Brosh et al., 2007).

El pulso de O_2 es medido en un espacio y tiempo relativamente estrecho, el cual se supone que representa el consumo de oxígeno por latido cardíaco de animales en pastoreo a lo largo de todo el día, y por lo tanto, el animal no debe estar bajo estrés. Cuando los animales están estresados, su frecuencia cardíaca se incrementa en una proporción mayor a su consumo de oxígeno, por lo tanto el valor de su pulso de O_2 y, consecuentemente, su gasto energético serán subestimados (Brosh et al., 2007).

Como ya se mencionó anteriormente los cambios en la frecuencia cardíaca están relacionados positivamente con los cambios en el gasto energético. Según Brosh et al. (2007) los factores que pueden afectar la frecuencia cardíaca y el gasto energético de los animales, y por lo tanto el pulso O_2 , se pueden clasificar en tres grandes grupos.

- 1) Factores externos críticos de corto plazo, como cambios diarios por olas de calor, ejercicio, o interferencia en el comportamiento normal del animal.
- 2) Factores crónicos externos, como la concentración energética de la dieta o cambios en la temperatura ambiental, los cuales pueden afectar el consumo y la EM consumida.
- 3) Factores crónicos intrínsecos de los niveles de producción y reproducción que afectan directamente el gasto energético de los animales y pueden afectar su consumo total de EM.

A lo largo de los últimos años diversos autores (Brosh et al. 1998a, Shargal et al. 2001, Aharoni et al. 2003, Puchala et al. 2006, Shargal 2006) han realizado investigaciones con el fin de cuantificar el efecto de diferentes factores sobre el pulso de O_2 . Mediante estos se puede concluir que si los animales no son sometidos a grandes olas de calor o ejercicio intenso es poca la variación existente en el pulso de O_2 durante el día, tanto que una medición de pulso de O_2 por animal diariamente puede sesgar el cálculo de gasto energético de cada animal hasta un 5 % como máximo.

Brosh et al. (1998b) indican que durante el ejercicio el pulso de O_2 normalmente se incrementa. Por esto, el método pulso de O_2 no debería ser

usado para animales que dedican gran parte del día a realizar ejercicios significativos. Sin embargo, en condiciones normales de pastoreo Anderson y Kothmann (1977) reportaron una lenta velocidad de caminata (1 a 3 km/h) y una corta caminata (3,5 a 5 km) para las vacas en libertad durante el día. A su vez Brosh et al. (2006b) midieron la velocidad de desplazamiento durante el pastoreo (0,14 a 0,24 km/h), lo que sugiere que períodos de esfuerzo físico intenso que podrían modificar el pulso de O_2 (Brosh et al., 1998b) son poco probables. Berhana et al. (2006) demostraron que una caminata lenta durante el pastoreo no afecta el pulso de O_2 . Es así que, se puede concluir que al menos que los animales sean forzadas a un ejercicio intenso, el método pulso de O_2 puede ser utilizado para estimar gasto energético de rumiantes, incluyendo animales en pastoreo.

Por otra parte, varios trabajos (Brosh et al. 1998a, Robertshaw y Rawson 2001, Aharoni et al. 2003) permitieron concluir que los efectos combinados de grandes olas de calor intrínsecas y extrínsecas al animal incrementan el flujo sanguíneo permitiendo la disipación de calor y por lo tanto reduce el pulso de O_2 . Aharoni et al. (2003) demostraron que para vacas Holando de alto rendimiento, un índice de temperatura y humedad (ITH; Thom, 1959) por encima de 75 causa reducciones moderadas en el VO_2 y pulso O_2 . Teniendo en cuenta esto cuando se estima el gasto energético a través de este método el efecto producido por las olas de calor debería ser tenido en cuenta, al menos durante parte del día (Brosh et al., 2007). En el caso opuesto, cuando existen temperaturas por debajo del mínimo de confort térmico, se incrementa levemente el pulso de O_2 considerándose despreciable según Chambers et al. (2000), Froget et al. (2002).

Otros factores que pueden influir en la medición del pulso O_2 son el estado fisiológico, productivo y reproductivo del animal, y aumentos de la energía metabolizable en las dietas, como consecuencia de un aumento del consumo de EM y el gasto energético (Brosh et al., 1998b, 2002, 2004), esto no ocurriría en caso que el animal haya alcanzado su límite superior de producción o gasto energético (Ketelaars y Tolkamp, 1996). Para estudiar los efectos del nivel de producción, estado fisiológico y estado reproductivo en la relación entre el pulso de O_2 y frecuencia cardíaca Brosh et al. (2007) recopilaron datos de 11 trabajos (publicados y no publicados) que fueron llevados a cabo en diferentes años. En base a estos trabajos, este autor pudo concluir que bajo condiciones fisiológicas similares, cuando los cambios en EM de las dietas y el consumo de EM son las principales causas del aumento del gasto energético, el incremento en la producción total de calor es exhibido principalmente por un aumento en la frecuencia cardíaca y no como un incremento en el pulso de O_2 . Sin embargo, la situación es diferente cuando el estado fisiológico de los animales cambia y su demanda energética aumenta (por ejemplo, cambio de no lactante a

lactante, o la maduración del tracto digestivo del animal). Otro ejemplo es el de vacas pastoreando comparadas con vacas en confinamiento, en este caso el incremento en gasto energético es también exhibido en un aumento del pulso de O₂. Este efecto sostenido del pulso de O₂ es similar al efecto causado por los factores externos críticos de corto plazo, como el ejercicio y el frío, que fueron discutidos anteriormente (Brosh et al., 2007).

2.4.4. Validación del método pulso de O₂ mediante ensayos de balance energético

Desde hace un tiempo es posible monitorear la actividad de los animales a lo largo de las 24 horas del día, brindando la posibilidad de medir el gasto energético de los animales durante el día. El reciente desarrollo permite obtener datos de localización del animal y velocidad de movimiento a través del GPS, y a su vez es posible monitorear la actividad de los animales con un sensor de movimiento (Ungar et al., 2005). Esto también ha hecho posible monitorear las diferentes formas en que se desenvuelven los animales en diferentes hábitats de pastoreo (Henkin et al., 2003). Estas nuevas técnicas permiten a los investigadores combinar información de varias actividades como la velocidad de movimiento y la distancia recorrida para medir el gasto energético en pequeños intervalos de tiempo, calculando el costo de energía de cada actividad específica y la distancia recorrida bajo diversas condiciones de pastoreo (Brosh et al., 2006b).

Mediante dos experimentos se evaluó la precisión del método pulso de O₂ para estimar la producción total de calor de un animal con la finalidad de calcular su balance energético. La hipótesis nula de dicho estudio fue que el gasto energético podría ser estimado con aceptable precisión por el método pulso de O₂ si la relación entre el consumo de EM y el gasto energético más la energía retenida [EM consumida / (producción total de calor + ER)] no difería significativamente de 1. Brosh et al. (2002) evaluaron el balance energético de 6 vacas de carne confinadas a lo largo de todo el ciclo reproductivo para un amplio rango en concentraciones energéticas en la dieta, dando como resultado una relación de $1,062 \pm 0,026$. Arieli et al. (2002) trabajando con 12 corderos en pleno crecimiento, midieron la energía retenida mediante la técnica de sacrificio, demostrando que la relación entre los métodos fue de $0,957 \pm 0,024$. En ambos ensayos de balance energético el resultado no fue diferente de 1 y en base a su desvío estándar el resultado fue poco sesgado, por lo cual se considera el método pulso de O₂ como una herramienta adecuada para medir el gasto energético.

2.5. HIPÓTESIS

- a) La producción total de calor de las vacas en pastoreo es mayor a las vacas en confinamiento.
- b) La producción total de calor de las vacas es menor a los 72 ± 11 días de lactancia en comparación a los 37 ± 11 días.
- c) La estimación de los requerimientos energéticos mediante el NRC (2001) subestiman el gasto energético de las vacas experimentales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) perteneciente a la Facultad de Agronomía (km. 363 ruta 3, Paysandú, Uruguay), durante la primavera 2015 (10 de setiembre al 11 de noviembre).

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL ANIMALES Y TRATAMIENTOS

Se utilizaron 24 vacas raza Holando multíparas con fecha de parto promedio 17/08/15 \pm 11 días, 2,31 \pm 0,46 lactancias, 3,06 \pm 0,42 unidades de CC y 641 \pm 68 kg de PV.

Las vacas fueron bloqueados según número de lactancia, fecha de parto, producción de leche anterior, PV y CC, asignadas en un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones (8 vacas/repeticón), a dos tratamientos.

Tratamiento 1 (T1): vacas pastoreando *Festuca arundinacea* y suplementadas con 5,36 kgMS/vaca/día de concentrado comercial para balancear la dieta.

Tratamiento 2 (T2): vacas alimentadas *ad libitum* con 100% DTM en encierro permanente (control).

Durante el posparto, tanto en el encierro (dimensión corrales: 8 x 22,6 m) como en pastoreo las vacas fueron manejadas en subgrupos (repeticón, 3 repeticiones de 8 vacas por tratamiento).

3.3. MANEJO

Las vacas fueron ordeñadas dos veces por día (6:00 y 16:30 h). Las vacas del T1 pastorearon en parcelas semanales (7d) una pastura pura de *Festuca arundinacea* de segundo año (Cuadro 2) en doble sesión de pastoreo (9:30 a 16:00 h y 18:30 a 5:30), asegurando una asignación de forraje de 30 kgMS/vaca/día. Inmediatamente posterior al ordeño matutino las vacas se suplementaron con 5,36 kgMS/vaca/día de un concentrado comercial (Cuadro 2) para balancear la dieta con el objetivo de lograr expresar el potencial de producción (Figura 3a). Las vacas del T2 fueron manejadas en encierro en

corrales grupales con agua y sombra disponible y con acceso (entre los ordeñes) a una DTM (Cuadro 2) *ad libitum* (Figura 3b).

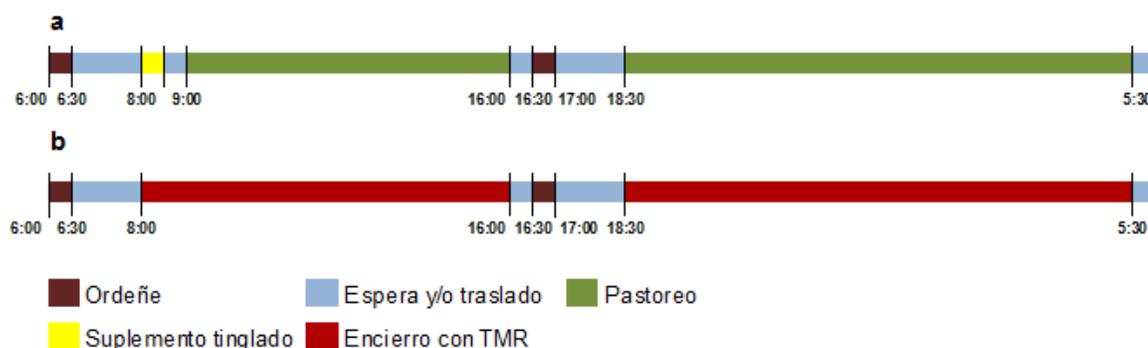


Figura 3. Rutina de manejo de las vacas alimentadas con pastoreo + suplemento (T1, a) y con DTM (T2, b).

Para cada ordeño las vacas del T1 fueron llevadas desde la pastura hasta el tambo, recorriendo una distancia de 1500 m, pasando por el tinglado luego del ordeño matutino para ser suplementadas. Mientras que las vacas del T2 fueron llevadas desde el tinglado hasta el tambo recorriendo una distancia de 840 m. Esto determinó que la distancia recorrida diaria fuera de 6000 y 3360 m para las vacas T1 y T2, respectivamente.

3.4. DETERMINACIONES

3.4.1. En los animales

Tanto el período experimental como las determinaciones comenzaron a los 23 ± 11 días posparto promedio (23/09/2015), a partir de esta fecha se midió producción y composición de leche diaria hasta el fin del período experimental. A los 37 y 72 ± 11 días postparto se midió la producción de calor, PV y CC. Lo más cercano posible a estas mediciones se determinó la frecuencia cardíaca.

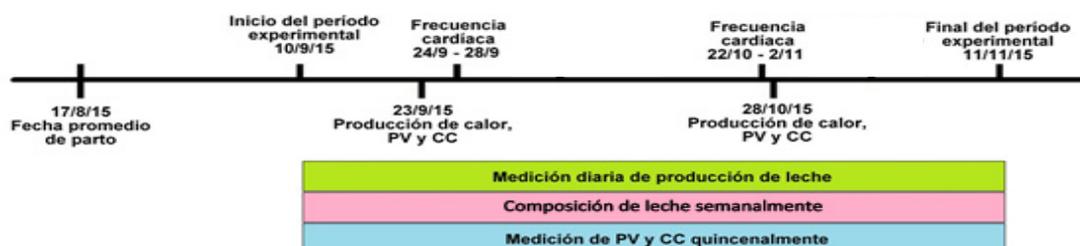


Figura 4. Protocolo experimental

La producción individual fue registrada diariamente mediante medidores de leche Waikato, mientras que semanalmente se colectaron muestras de leche (durante los dos ordeños) conservándose con Lactopol® (dicromato de potasio al 5%, Grupo Benzo, Uruguay) para el posterior envío al laboratorio y determinación de proteína, grasa, lactosa y urea (Milkoscan® Foss FT 2). Se determinó la CC en una escala del 1-5 (Edmonson et al., 1989) quincenalmente, al igual que el PV mediante una balanza Hook AT 150.

La producción de calor se midió usando el método de pulso de O₂ como se describe por Brosh et al. (2002), para esto se realizaron las mediciones de consumo de oxígeno y frecuencia cardíaca en dos momentos, 37 y 72 ± 11 días posparto (23/09/2015 y 28/10/2015, respectivamente). Para obtener el pulso de O₂ se sincronizan ambas mediciones durante 10 minutos bajo condiciones que no generen estrés o que perturben el comportamiento natural de los animales, asegurando que la frecuencia se encuentre en el rango de valores normales a lo largo del día.

El consumo de oxígeno se midió mediante una máscara facial en un sistema respiratorio de circuito abierto (Fedak et al., 1981). La precisión del sistema se comprobó gravimétricamente mediante la inyección de nitrógeno (N₂ recovery) en la máscara, como se describe por McLean y Tobin (1990), durante la medición la vaca está de pie, y el aire exhalado es aspirado desde su cara pasando posteriormente a través de un filtro de aire y un medidor de flujo másico. Los cambios en la concentración de oxígeno en relación a la concentración ambiental fueron medidos mediante un analizador de oxígeno paramagnético (SERVOPRO 1440, Crowborough, East Sussex, Reino Unido), y la temperatura y la humedad relativa del aire expirado se midieron con HygroClip S sensores electrónicos (Rotronic AG, Basserdorf, Suiza) para permitir el cálculo del oxígeno consumido bajo condiciones estándar de temperatura, presión, y cero humedad. Estos datos se registraron y guardaron en intervalos de 5 segundos en una computadora portátil de forma simultánea por el modelo de adquisición y registro de datos Datataker DT 50 (Datataker, Rowville Melbourne, Victoria, Australia).

Inmediatamente antes o después de la determinación del pulso de O₂ se midió la frecuencia cardíaca en forma continua durante 4 días grabada con un pulsímetro Polar® (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia), un transmisor de frecuencia cardíaca modelo T51H, y un modelo de reloj RCX3 registrador de datos programado para intervalos de 5 segundos. Los dispositivos fueron unidos al tórax detrás de las patas delanteras por medio de un cinturón elástico diseñado específicamente.

3.4.2. Alimentos

En la pastura se calculó mensualmente el forraje disponible mediante la técnica de doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975) y se tomaron muestras representativas para determinar la MS. También se utilizó dicha técnica para determinar el disponible de las parcelas previo a la etapa de medición del consumo, así como también el rechazo una vez finalizada la misma. La masa de forraje se ajustó semanalmente utilizando los registros de Rising Plate Meter (Mattiauda et al., 2013).

A su vez se recolectaron muestras mediante la técnica de hand clipping (Coates y Penning, 2000) en los mismos momentos de determinación del consumo para su análisis de composición química (Cuadro 2).

Se tomaron muestras de las DTM ofrecidas para analizar su composición química (Cuadro 2) y de los rechazos durante el período de medición de consumo. Además se colectaron muestras de los componentes principales (cuando se registraron nuevas partidas de concentrados y/o forrajes conservados).

3.4.3. Análisis de laboratorio

Las muestras de forraje ofrecido y consumido (hand clipping) y las muestras de las DTM y suplemento ofrecido y rechazado se molieron a 2 mm y se pasaron por un cuarteador obteniendo dos submuestras, de una de ellas se extrajo una cierta cantidad de gramos y se mezclaron entre sí las correspondientes a un mismo período de consumo para formar muestras compuestas para la determinación de los contenidos de materia seca a 105 °C, cenizas, nitrógeno (AOAC, 2000) y los contenidos de FDN, FDA y LDA (Van Soest et al., 1991) en el laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía.

3.4.4. Cálculos

Tanto la evolución del PV como de la CC se estimaron a partir de regresiones cúbicas o cuadráticas para cada vaca buscando obtener el mayor ajuste. Los valores utilizados para ajustar la regresión son producto de una media móvil que utiliza las mediciones acumuladas promediando el valor en el momento de la medición con el valor de la medición inmediatamente anterior y el posterior, ya que Asher et al. (2014) demostraron que el peso vivo medido en todas las semanas no difirió significativamente del promedio estimado ya sea para semanas individuales o datos acumulados. Utilizando las regresiones mencionadas anteriormente se pudo estimar la evolución del PV y CC de las

vacas en un periodo de 20 días entorno a la fecha de medición lo que permitió calcular los requerimientos energéticos para ganancia de peso.

La producción de calor a lo largo del día fue calculada multiplicando la frecuencia cardíaca (latidos/min.) medida durante todo el día por el pulso de O₂ (L/latido), y por el valor de energía disipada de 20,47 kJ/L de O₂ consumido según Nicol y Young (1990) de acuerdo a las siguientes fórmulas:

- a.1. $HP \text{ (kJ)} = FC \text{ (latidos/min.)} \times \text{pulso de O}_2 \text{ (L de O}_2\text{/FC)} \times EdO_2 \text{ (kJ/L de O}_2\text{)}$
 a.2. $\text{Pulso de O}_2 \text{ (L de O}_2\text{/FC)} = VO_2 \text{ (L)} / FC \text{ (latidos/min.)}$

Los requerimientos de mantenimiento, actividad (caminata + pastoreo), lactación se estimaron de acuerdo al NRC (2001):

- b.1. $ENL_m \text{ (Mcal/día)} = 0.080 \text{ Mcal/kg PV}^{0.75}$
 b.2. $ENL_{act} \text{ (Mcal/d)} = 0.00045 \text{ Mcal/kgPV/km recorrido} + 0.0012 \text{ Mcal/kg PV}$
 b.3. $ENL \text{ (Mcal/kg leche)} = 0.0929 \times \% \text{ grasa} + 0.0547 \times \% \text{ proteína} + 0.0395 \times \% \text{ lactosa}$

La ER a nivel corporal se estimó basado en las siguientes ecuaciones.

Condición corporal

- b.4. $\text{Peso vacío (kg)} = 0.817 \times PV \text{ (kg)}$
 b.5. $CC_{(1 \text{ al } 9)} = ((CC_{(1 \text{ al } 5)} - 1) \times 2) + 1$

Proporciones en peso vacío

- b.6. $\text{Grasa} = 0.037683 \times CC_{(1 \text{ al } 9)}$
 b.7. $\text{Proteína} = 0.200886 - 0.0066762 \times CC_{(1 \text{ al } 9)}$

Reserva total de energía

- b.8. $ER = \text{Proporción grasa peso vacío} \times 9.4 + \text{Proporción proteína peso vacío} \times 5.55$

Pérdida de peso

- b.9. $ENL \text{ (Mcal/kg perdido)} = \text{Reserva total de energía} \times 0.82$

Ganancia de peso

- b.10. $ENL \text{ (Mcal/kg ganado)} = \text{Reserva total de energía} \times (0.64/0.75)$

El aporte de energía de los alimentos se estimó de acuerdo al NRC (2001) usando las siguientes ecuaciones.

Generales

- c.1. $ED \text{ (Mcal/kg)} = 0,04409 \times NDT \text{ (\%)}$
- c.2. $EM \text{ (Mcal/kg)} = 1,01 \times ED \text{ (Mcal/kg)} - 0,45$
- c.3. $EN_L \text{ (Mcal/kg)} = 0,0245 \times NDT \text{ (\%)}$

Estimación de NDT de los alimentos a nivel de mantenimiento

- c.4.1 $\text{Carbohidratos no fibrosos digestibles verdaderos (dv CNF)} = 0,98 \times (100 - [(FDN - PCIDN) + PC + EE + Cenizas]) \times FAP$
- c.4.2 $\text{Proteína cruda digestible verdadera para forrajes (dv PC}_f) = PC \times \text{Exp} [-1,2 \times (PCIDA/PC)]$
- c.4.3 $\text{Proteína cruda digestible verdadera para concentrados (dv PC}_c) = [1 - (0,4 \times (PCIDA/PC))] \times CP$
- c.4.4 $\text{Ácidos grasos digestibles verdaderos (dv AG)} = AG$
- c.4.5 $\text{Fibra soluble en detergente neutro digestible verdadera (dv FDN)} = 0,75 \times (FDN_n - Lig) \times [1 - (Lig / FDN_n)^{0,667}]$

Dónde: $AG = EE - 1$

$FDN_n = FDN - PCIDN.$

* Todos los valores son expresados como porcentaje de la materia seca.

- c.5. $NDT_{1X} \text{ (\%)} = dvCNF + dvPC + (dvAG \times 2,25) + dvFDN - 7$

Dónde: NDT_{1X} son los nutrientes digestibles totales del alimento con el animal consumiendo a nivel de mantenimiento.

Estimación de la ED de los alimentos

- c.6. $ED_{1X} \text{ (Mcal/kg)} = (dvCNF/100) \times 4,2 + (dvFDN/100) \times 4,2 + (dvPC/100) \times 5,6 + (AG/100) \times 9,4 - 0,3$

En la ecuación c.6, la $dvCNF$, $dvFDN$, $dvPC$ y AG se expresan como porcentaje de la materia seca.

Estimación de la ED del consumo actual:

- c.7. $FAC = [(NDT_{1X} - [(0,18 \times NDT_{1X}) - 10,3]) \times \text{consumo sobre mantenimiento}] / NDT_{1X}$

Dónde: FAC es el factor de ajuste de consumo de energía.

* Si $NDT_{1X} < 60$ el FAC es 1.

$$c.8. \quad ED_a = ED_{1X} \times FAC$$

Estimación de la EM del consumo actual

Si el alimento contiene EE > 3%:

$$c.9. \quad ME_a \text{ (Mcal/kg)} = 1,01 \times ED \text{ (Mcal/kg)} - 0,45$$

Si el alimento contiene EE < 3%:

$$c.10. \quad ME_a \text{ (Mcal/kg)} = [1,01 \times (ED_a) - 0,45] + 0,0046 \times (EE - 3)$$

Estimación de la EN_L del consumo actual

Si el alimento contiene EE > 3%:

$$c.11. \quad EN_{La} \text{ (Mcal/kg)} = [0,703 \times ME_a \text{ (Mcal/kg)}] - 0,19$$

Si el alimento contiene EE < 3%:

$$c.12. \quad EN_{La} \text{ (Mcal/kg)} = [0,703 \times ME_a \text{ (Mcal/kg)}] - 0,19 + [(0,097 \times ME_a + 0,19)/97] \times [EE - 3]$$

Estimación de la energía neta de los alimentos para mantenimiento (EN_M) y ganancia (EN_G)

$$c.13. \quad EN_M \text{ (Mcal/kg)} = 1,37EM - 0,138 EM^2 + 0,0105 EM^3 - 1,12$$

$$c.14. \quad EN_G \text{ (Mcal/kg)} = 1,42EM - 0,174 EM^2 + 0,0122 EM^3 - 1,65$$

El consumo de energía metabolizable se estimó como la sumatoria de la PTC y la energía retenida total según la siguiente ecuación:

$$CEM \text{ (MJ/d)} = PTC + ER$$

Dónde: PTC es la producción total de calor medida mediante la técnica del pulso de O₂

ER es la energía retenida total estimada según NRC (2001)

Los requerimientos de mantenimiento fueron estimados también a partir de la regresión lineal existente entre la PTC y el consumo de EM según Brosh et al. (2002) mediante la siguiente ecuación:

$$EM_m = c / 1 - b.$$

Dónde: EMM es la energía metabolizable requerida para mantenimiento
 c es el termino independiente de la regresión (PTC en ayuno)
 b es la pendiente de la regresión lineal (incremento calórico)

Cuadro 1. Referencias sobre cálculos

AG	Ácidos grasos
CNF	Carbohidratos no fibrosos
CC	Condición corporal
dv	Digestibles verdaderos
ED	Energía digestible
EdO ₂	Energía disipada por litro de oxígeno consumido = 20,47 KJ/L
EM	Energía metabolizable
EN _L	Energía neta de lactación
EN _{Lactividad}	Energía neta de lactación para actividad
EN _{Lm}	Energía neta de lactación para mantenimiento
ENL	Energía neta de lactación para producción
EN _G	Energía neta para ganancia
EN _M	Energía neta para mantenimiento
ER	Energía retenida
EE	Extracto etéreo
FAC	Factor de ajuste de consumo de energía
FAP	Factor de ajuste por procesamiento del alimento
FDA	Fibra soluble en detergente ácido
FDN	Fibra soluble en detergente neutro
FC	Frecuencia cardíaca
Lig	Lignina detergente ácido
PCIDA	Nitrógeno insoluble en detergente ácido × 6,25
PCIDN	Nitrógeno insoluble en detergente neutro × 6,25
NDT	Nutrientes digestibles totales
PV	Peso vivo
PTC	Producción total de calor
PC	Proteína cruda
PO ₂	Pulso de oxígeno
VO ₂	Volumen de oxígeno consumido

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron analizados mediante un diseño de bloques al azar y medidas repetidas con el modelo estadístico expresado a continuación, el mismo incluye la estrategia de alimentación, momento de lactancia y sus interacciones como efectos fijos, bloque e individuo como efectos aleatorios y fecha de parto como covariable. Las relaciones entre las variables fueron estudiadas mediante análisis de correlaciones y regresiones.

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + Y_j + \tau Y_{ij} + \beta_k + V_l + FP + \varepsilon_{ijkl}$$

μ : media

τ_i : efecto del tratamiento i i = 1,2

Y_j : efecto del momento de lactancia j = 1,2

τY_{ij} : interacción tratamiento por momento de lactancia

β_k : efecto del bloque k k = 1,2,3

V_l : efecto del individuo/vaca l = 1,2,3...24

FP : fecha de parto como covariable

ε_{ijkl} : error

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DIETAS

La calidad de la pastura (*Festuca arundinacea*) disminuyó de los 37 a los 72 días de lactación (de setiembre a octubre, respectivamente) ya que el contenido de PC disminuyó 34%, el de NIDN aumentó un 98% y los componentes de la pared celular (FDN, FDA y lignina) tuvieron un aumento de entre 5% y 12% (Cuadro 2). Estos cambios en la composición química se han asociado a un menor CMS y digestibilidad (Allen 2000, NRC 2001). Por lo tanto, es de esperarse que el consumo de energía proveniente del forraje sea menor para el segundo período (72 días).

Cuadro 2. Ingredientes y composición química de la dieta totalmente mezclada (DTM), suplemento y pastura (*Festuca arundinacea*)

	DTM	Suplemento	Festuca setiembre**	Festuca octubre**
Composición de ingredientes*				
Ensilaje de maíz	35,25	...	...	...
Heno de moha	3,85	...	...	...
Grano de sorgo	24,48	...	...	...
Grano de maíz	7,28	32	...	...
Grano de cebada	4,74	31	...	...
Expeler de soja	14,57	32	...	...
Expeler de girasol	8,01	...	...	...
Cloruro de sodio	0,36	1	...	...
Insalmix premium LA®	1,46	...	...	...
Sal compuesta®	...	4	...	...
Composición química*				
MS	45,69	89,35	s/d	26,05
MO	93,69	92,37	93,63	88,15
FDN	35,10	34,69	51,33	57,57
FDA	20,96	8,58	27,10	30,27
Lignina	4,02	2,85	2,76	2,89
CNF	42,00	37,64	20,15	14,98
PC	13,30	17,50	19,15	12,60
NIDN	2,49	8,05	2,57	5,10
NIDA	1,58	1,47	1,27	1,27
EE	3,30***	2,54***	3,00***	3,00***
Cenizas	6,31	7,63	6,37	11,85
NDT	67,01	71,81	66,85	60,15
ENL, MJ/kg de MS	6,25	6,82	6,47	5,69

*Los valores están expresados en porcentaje de la MS total, a no ser que se especifique lo contrario.

**Correspondiente a 37 y 72 ± 11 días de lactación.

***Valores promedio extraídos de bibliografía.

4.2. PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE

La producción de leche no difirió entre tratamientos ni entre los días de lactación, pero fue afectada por la interacción entre tratamiento y los días ($P < 0,001$) ya que la producción de leche disminuyó ($P < 0,001$) de los 37 a 72 días en las vacas T1 pero no en las vacas T2 (Figura 5a).

Las curvas de producción de leche en función de la semana de lactación muestran que la producción de leche fue mayor en T1 que T2 entre la semana 2 y la 5 posparto, pero fue mayor en T2 que T1 entre la 10 y la 13 de lactación (Figura 5b). Este comportamiento de las curvas de producción fue similar cuando se analizó en función de la semana experimental (datos no presentados).

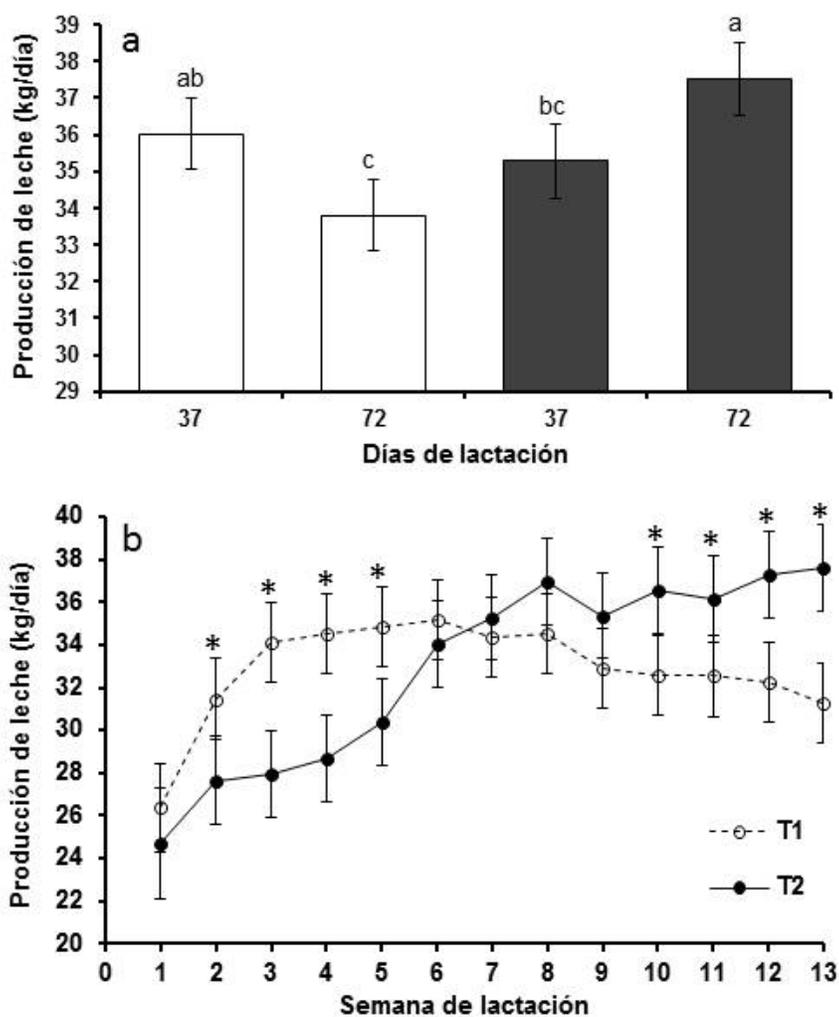


Figura 5. Producción de leche según tratamiento a los 37 y 72 \pm 11 días de lactancia (a) y en función de la semana de lactancia (b).

Estos resultados contrastan con otros trabajos nacionales los cuales encontraron una mayor producción de leche en vacas consumiendo una DTM

durante lactancia temprana frente a vacas que integraban parte de su dieta con pasturas (Acosta et al. 2010, Mendoza et al. 2012, Fajardo et al. 2015). En el presente trabajo las vacas del T2 habrían presentado un retraso en su pico de producción de leche respecto a las del T1. Este retraso en el pico de producción podría estar asociado, entre otros factores, a una sumatoria de condiciones estresantes durante el posparto inmediato en este grupo de vacas. Además del estrés producido por el parto, a las vacas del T2 se les sumó el cambio de ambiente, incluyendo este la adaptación a las nuevas instalaciones, cambio de dieta y reestructuración de los lotes generando nuevas estructuras sociales dentro de los bloques. Von Keyserlingk et al. (2008), Neave et al. (2016) han reportado que estos eventos estresantes disminuyen la producción de leche. A su vez, la DTM (T2) presentó una restricción en la oferta proteica, presentando 13,3% de PC. De acuerdo al NRC (2001) para maximizar la producción de leche las vacas deben alimentarse con dietas que contengan 18% o más de proteína cruda.

El porcentaje de grasa tendió a ser mayor ($P = 0,051$), mientras que el porcentaje de lactosa tendió a ser menor ($P = 0,058$) en las vacas T1 que T2, no encontrándose diferencias entre tratamientos en el porcentaje de proteína (Cuadro 3). Los porcentajes de grasa y proteína disminuyeron ($P < 0.001$) del día 37 al 72 de lactación. Sin embargo, la disminución en el porcentaje de proteína ocurrió únicamente en las vacas T1 mientras que para las vacas T2 se mantuvo.

La producción de grasa no difirió entre tratamientos, pero si fue afectada por la interacción entre el tratamiento y días de lactación ($P < 0,005$), ya que las vacas del T1 disminuyeron la producción de grasa entre los 37 y 72 días, mientras que las vacas T2 la mantuvieron (Cuadro 3).

La producción de lactosa no tuvo diferencias entre tratamientos, mientras que la producción de proteína tendió a ser mayor ($P = 0,076$) en las vacas del T2. A su vez existió efecto de la interacción entre el tratamiento y días de lactación ($P < 0,001$) tanto para la producción de proteína como de lactosa, ya que el T1 disminuyó ambas producciones desde los 37 a los 72 días posparto mientras que el T2 las aumentó.

La ENL secretada en leche no fue diferente entre tratamientos, pero disminuyó ($P = 0,001$) del día 37 al 72 de lactación y fue afectada por la interacción entre el tratamiento y los días de lactación ($P < 0,001$) ya que la ENL disminuyó del día 37 al 72 en las vacas del T1 mientras que aumentó en el mismo periodo en las vacas T2 (Figura 6).

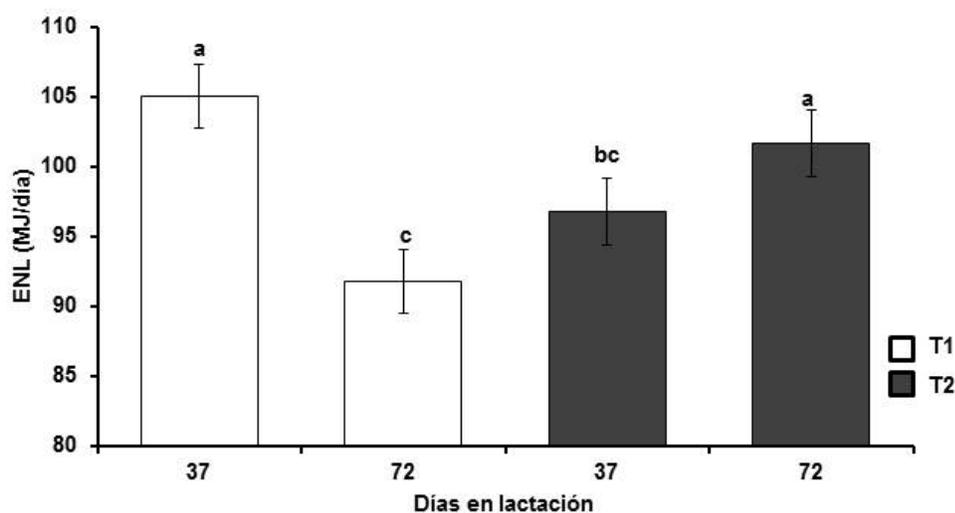


Figura 6. Energía neta en leche según tratamiento en cada periodo.

Como era de esperarse el porcentaje de grasa fue mayor en las vacas del T1 como consecuencia de un mayor consumo relativo de sustratos acetogénicos (Holmes et al., 2002). A su vez el porcentaje de grasa para ambos tratamientos disminuyó entre los 37 y 72 días de lactación, esto puede explicarse por la menor movilización de reservas en esta etapa más avanzada (Holmes et al., 2002) y a un efecto de dilución por el aumento en la producción de leche en las vacas T2.

Los resultados encontrados tanto para porcentaje como producción de grasa coinciden con lo reportado en un experimento similar al presente trabajo por Fajardo et al. (2015). Sin embargo, otros autores no encontraron estas diferencias en porcentaje de grasa (Soriano et al. 2001, Mendoza et al. 2002, Kennedy et al. 2015), e incluso Bargo et al. (2002) reportaron una menor producción y porcentaje de grasa para vacas alimentadas con pastura más suplemento en comparación a las alimentadas con DTM. Las diferencias con lo reportado por estos últimos autores podría explicarse por los mayores niveles de suplementación utilizados y la alta digestibilidad de la fibra en la pastura.

Los resultados en proteína en leche son coincidentes con los de Mendoza et al. (2012), Fajardo et al. (2015) quienes reportaron diferencias en la producción de proteína a favor de las vacas alimentadas con DTM pero no en el porcentaje de proteína, mientras que Bargo et al. (2002) reportaron valores inferiores para ambas variables en las vacas que pastoreaban. La interacción encontrada en la producción y porcentaje de proteína se explica principalmente

por la disminución en ambas variables para las vacas T1 a los 72 días de lactancia como consecuencia de un menor valor nutritivo de la pastura. Esta disminución en el valor nutritivo de la pastura podría haber provocado una disminución en el consumo de MS y en la síntesis de biomasa microbiana siendo estos aspectos claves en la producción de proteína láctea.

La tendencia a mayor porcentaje de lactosa encontrados en las vacas del T2 se podría corresponder al mayor nivel relativo de ácido propiónico como consecuencia de una dieta con mayor nivel de concentrado, el cual es el principal precursor de la síntesis de glucosa en los rumiantes (Holmes et al., 2002). Estos resultados no coinciden con los de Fajardo et al. (2015) quienes observaron una tendencia a mayor porcentaje de lactosa en las vacas que pastoreaban y una menor producción en relación a vacas con DTM.

Asimismo, los resultados encontrados para ENL en leche discrepan con lo reportado previamente, donde encontraron mayor producción de ENL en vacas alimentadas con DTM durante lactancia temprana a media (Bargo et al., 2002) y temprana (Fajardo et al., 2015).

Cuadro 3. Efecto de la estrategia de alimentación en la producción y composición de leche a los 37 y 72 días de lactancia

Variable	Tratamientos*		Día de lactación**			Valor - P			
	T1	T2	EE	37	72	EE	Tratamiento	Período	Tratamiento x Período
Leche (kg/d)	35,1	36,1	0,91	35,6	35,6	0,69	0,445	0,898	<0,001
Grasa (%)	3,33	2,99	0,12	3,31	3,01	0,09	0,051	<0,001	0,128
Grasa (kg/d)	1,14	1,09	0,05	1,16	1,06	0,03	0,474	0,001	<0,001
Proteína (%)	3,03	3,14	0,07	3,14	3,03	0,05	0,291	<0,001	<0,001
Proteína (kg/d)	1,06	1,13	0,02	1,11	1,08	0,02	0,076	0,072	<0,001
Lactosa (%)	4,97	5,08	0,04	5,01	5,04	0,03	0,058	0,310	0,099
Lactosa (kg/d)	1,75	1,82	0,05	1,78	1,80	0,04	0,239	0,487	<0,001
ENL (MJ/d)	98,45	99,27	2,21	100,94	96,78	1,59	0,804	0,001	<0,001

*Pastoreo más suplemento (T1); dieta totalmente mezclada en confinamiento (T2)

**37 y 72 ± 11 días de lactación, corresponden a los meses de setiembre y octubre.

4.3. PESO VIVO Y CONDICIÓN CORPORAL

Las regresiones que describen la evolución de PV y CC por vaca mostraron un comportamiento cúbico (19 vacas) y cuadrático (4 vacas) y presentaron un r^2 promedio de 0,93 (0,78 mínimo y 0,99 máximo). A su vez, ninguno de los parámetros de estas regresiones fueron afectados por los tratamientos ($P > 0,1$), demostrando que las vacas del T1 y T2 presentaron curvas similares para ambas variables. Como era de esperarse las vacas de ambos tratamientos presentaron una disminución de PV y CC en los primeros días posparto debido a la movilización de reservas para cubrir los requerimientos energéticos por la producción de leche (NRC, 2001). En promedio las vacas del T2 comenzaron a ganar PV y CC a partir de los 33 (585 kg) y 43 (2,5 unidades) días de lactación respectivamente, mientras que las vacas del T1 no aumentaron su PV ni CC durante los primeros 80 días de lactancia (Figura 7). Resultados similares fueron encontrados a nivel nacional por Chilbroste et al. (2012).

A los 37 días de lactancia las vacas T1 se encontraban en balance energético negativo, en cambio las vacas T2 ya habían dejado de movilizar reservas justificando la evolución de PV y CC mencionada anteriormente. En cambio a los 72 días posparto las vacas T1 superaron el nadir energético negativo, encontrándose en un balance de energía igual a 0 mientras que las vacas T2 ya se encontraban depositando tejido (Figura 8). Estos resultados coinciden con Meikle et al. (2013), Astessiano et al. (2015) quienes reportaron una mayor CC y mejor status endocrino metabólico en vacas alimentadas con DTM frente a aquellas que pastorearon.

Se debe considerar el bajo nivel proteínico de la DTM como otro factor que puede explicar el comportamiento de las vacas T2 a los 37 días posparto. Investigaciones realizadas por Ørskov et al. (1977) demostraron que cuando se incrementó la oferta de proteína posruminal el balance energético negativo durante lactancia temprana se acentuó, sugiriendo que la movilización de reservas corporales como fuente de energía para la producción de leche podría limitarse por una baja disponibilidad de aminoácidos requeridos para la síntesis de proteína en leche. Esto genera una partición diferencial de la energía consumida disminuyendo la movilización.

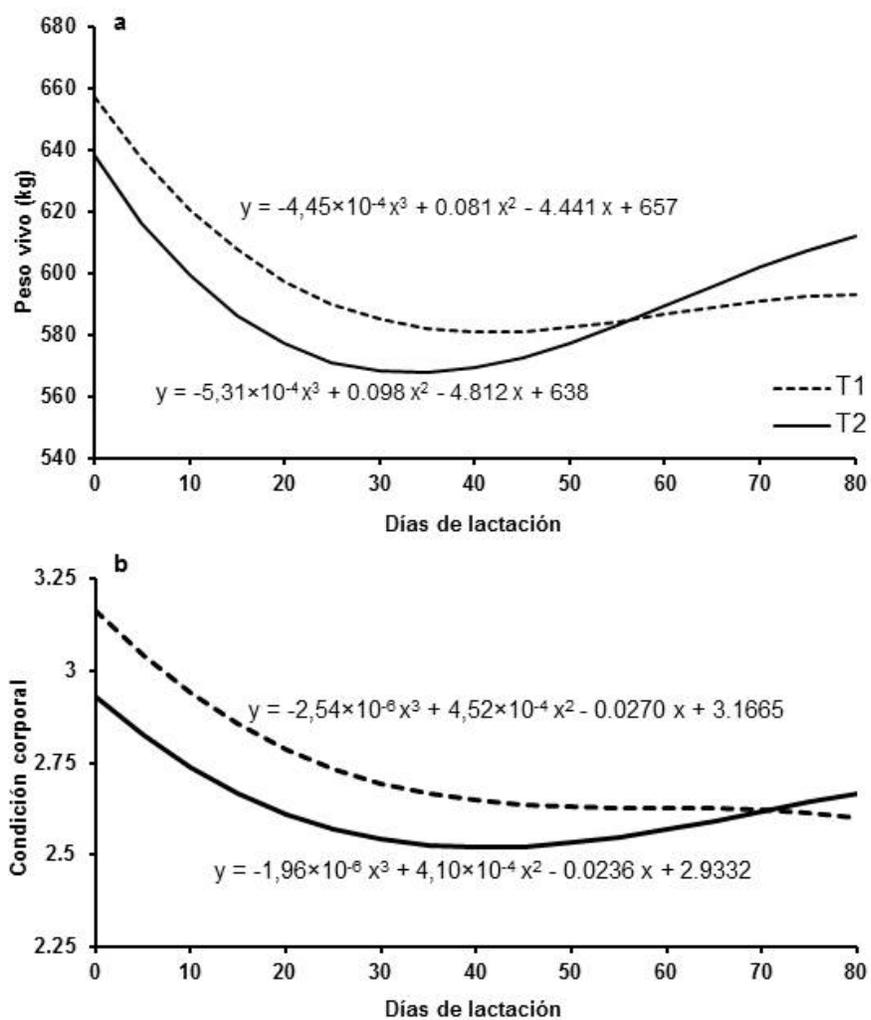


Figura 7. Evolución de la condición corporal (a) y evolución del peso vivo para cada tratamiento (b).

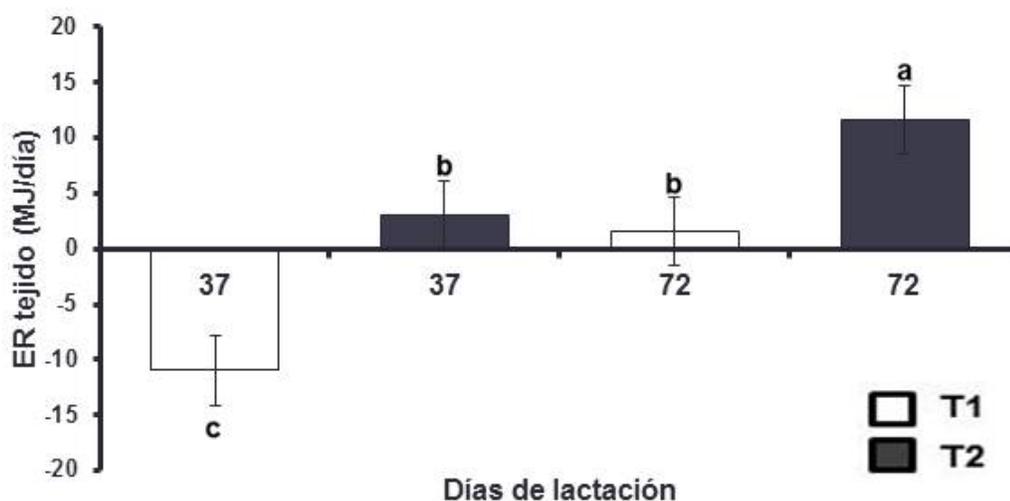


Figura 8. Energía retenida en tejido corporal según tratamiento (DPP).

4.4. BALANCE DE ENERGÍA

La energía retenida total fue mayor ($P < 0,001$) en las vacas del T2 que en las T1 y aumentó de los 37 a los 72 días de lactancia (Cuadro 4). Sin embargo, la ER total presentó una interacción del tratamiento por periodo ($P = 0,014$) como consecuencia de que la ER aumentó de los 37 a los 72 días en las vacas T2 pero no en las vacas del T1. Estos resultados explican una mayor eficiencia en la retención de la energía consumida (EF2, $P = 0,013$) en las vacas T2, ya que el consumo de energía metabolizable si bien disminuyó ($P < 0,01$) de los 37 a los 72 días, no presentó diferencias entre los tratamientos (Cuadro 4). Esto coincide con lo reportado por Xue et al. (2011) los cuales no encontraron diferencias en el consumo de EM al aumentar el nivel de concentrado en la dieta. Sin embargo, trabajos similares encontraron mayor consumo de EM en vacas alimentadas con DTM frente a aquellas alimentadas solo con pastura (Kolver y Muller, 1998) o pastura más 8,7 kgMS de concentrado (Bargo et al., 2002). El presente trabajo indicaría que en vacas de alto mérito genético es posible lograr alto consumo de MS de pastura y por lo tanto, altos consumo de EM en dietas formadas mayoritariamente por pasturas.

El valor de EF1 (ENL/EM) promedio de los tratamientos en el presente trabajo fue de 0,395, siendo superior al valor promedio de 0,352 reportado por Dong et al. (2014) para vacas Holando de 164 días de lactancia promedio estimado bajo cámaras calorimétricas. Xue et al. (2011) también encontraron un

valor menor (0,337) para vacas Holando con 90 días de lactancia promedio. Las diferencias respecto a Dong et al. (2014) podrían deberse al diferente método de estimación del gasto energético y a una menor partición de la EM consumida para producción de leche debido a la etapa de lactancia más avanzada (Veerkamp y Emmans, 1995). Mientras que las diferencias con Xue et al. (2011) podrían explicarse también por la etapa de lactancia más avanzada y a un menor consumo de EM por unidad de peso metabólico lo cual se asocia a una mayor producción total de calor y consecuentemente a una disminución de la partición de energía para producción. Por otro lado, cabe destacar la baja EF1 con la que utilizan la energía las vacas del T2 a los 37 días posparto (0,36, dato no presentado) reafirmando nuevamente lo reportado por Ørskov et al. (1977) sobre la disminución en la producción de leche por un déficit proteínico durante el inicio de lactancia.

Cuadro 4. Consumo, producción total de calor, energía retenida, requerimientos energéticos, eficiencia y balance energético

	Tratamiento*				Días de lactación**				Valor - P		
	T1	T2	EE	37	72	EE	Trat.	Período	Tratamiento x Período		
Consumo EM (MJ/d)	242,62	253,63	7,46	261,55	234,7	6,02	0,309	<0,01	0,092		
PTC (MJ/d)	147,28	146,15	7,58	162,37	131,06	6,30	0,920	<0,001	0,403		
ER total (MJ/d)	92,63	106,87	2,29	96,02	103,48	2,13	<0,001	0,014	0,014		
ENL (MJ/d)	98,45	99,27	2,21	100,94	96,78	1,59	0,804	0,001	<0,001		
ER tejido (MJ/d)	-4,00	6,57	2,69	-4,69	7,27	2,15	0,040	<0,001	0,386		
EF1 (ENL/EM)	0,41	0,38	0,01	0,38	0,41	0,01	0,184	0,060	0,095		
EF2 (ER total/EM)	0,38	0,43	0,01	0,37	0,44	0,01	0,013	<0,001	0,986		
Requerimiento											
EM _{total} (MJ/d)***	78,89	71,76	1,63	73,44	75,60	1,53	<0,001	0,110	<0,001		

*Pastoreo más suplemento (T1); dieta totalmente mezclada en confinamiento (T2)

**37 y 72 ± 11 días de lactancia correspondiente a setiembre y octubre

***Estimado a partir de NRC (2001)

Los tratamientos evaluados no tuvieron efecto sobre la producción total de calor ($P = 0,970$), el pulso de O_2 ($P = 0,853$) ni la frecuencia cardíaca ($P = 0,516$, Cuadro 5). Aharoni et al. (2005) trabajando con vacas Holando de alta producción durante lactancia temprana bajo condiciones de confinamiento obtuvieron valores de pulso de O_2 de $450 \mu\text{L}/\text{latido}/\text{kg de PV}^{0,75}$, por lo tanto el valor obtenido en el presente trabajo para las vacas tanto del T2 como T1 se encuentran en concordancia con lo reportado por estos autores. En el mismo trabajo, los autores (Aharoni et al., 2005) reportaron valores de frecuencia cardíaca de $81,4$ latidos/min. y Purwanto et al. (1990) mostraron valores de $80,6$ latidos/min. también para un grupo de vacas de alta producción. Estos valores de tasa cardíaca fueron inferiores al valor obtenido en el presente trabajo. Esto determina valores de producción total de calor reportado por estos autores inferiores a los obtenidos en el presente trabajo (1084 vs. $1240 \text{ kJPV}^{0,75}/\text{día}$). No se encontraron datos publicados para estas variables para vacas en condiciones de pastoreo. Sin embargo, Brosh et al. (2007) trabajando con vacas lactantes en razas carniceras, observaron que vacas en condiciones de pastoreo presentaron un 10% mayor frecuencia cardíaca y un 30% mayor pulso de O_2 que aquellas bajo condiciones estabuladas.

En el presente trabajo, se observó una disminución ($P < 0,001$) de $17,8$ % en la producción total de calor de setiembre a octubre (de 37 a 72 días de lactancia) como consecuencia de la disminución tanto de la frecuencia cardíaca como el pulso de O_2 ($P = 0,025$ y $P < 0,001$, respectivamente; Cuadro 5). Esto podría deberse en las vacas del T1 a un menor consumo de EM y una menor demanda energética por menor actividad metabólica debido a la etapa de lactancia más avanzada (Brosh et al., 2007). Sin embargo, en las vacas del T2 la producción de leche aumenta en el segundo período y el consumo de EM no varía. Por lo tanto, no era esperable que la producción total de calor disminuyera, por lo cual esto reafirma la necesidad de plantear nuevas investigaciones sobre este tema.

Cuadro 5. Estimación de la producción total de calor según tratamiento para cada período

	Días de lactación*	
	37	72
Frecuencia cardíaca (latidos / min.)		
pastoreo + suplemento	92,7 <i>Aa</i>	88,1 <i>Ba</i>
DTM	91,6 <i>Aa</i>	90,8 <i>Aa</i>
Pulso de O ₂ (μL / latido / kg PV ^{0.75})		
pastoreo + suplemento	0,505 <i>Aa</i>	0,430 <i>Ba</i>
DTM	0,505 <i>Aa</i>	0,424 <i>Ba</i>
Producción total de calor (kJ / PV ^{0.75} / d)		
pastoreo + suplemento	1365 <i>Aa</i>	1112 <i>Ba</i>
DTM	1356 <i>Aa</i>	1125 <i>Ba</i>

*37 y 72 ± 11 días de lactación correspondiente a setiembre y octubre.

Letras mayúsculas difieren significativamente entre columnas y letras minúsculas difieren significativamente entre filas (P-valor<0,05).

La curva de producción total de calor acompaña las variaciones de la curva de frecuencia cardíaca, determinando que estas dos variables están altamente correlacionadas ($r = 0,997$). La frecuencia cardíaca ($P < 0,001$) y la producción total de calor ($P < 0,001$) varían significativamente según el momento del día asociado a la rutina diaria de cada tratamiento. Brosh et al. (1998b), Aharoni et al. (2005) reportaron para animales en confinamiento que los patrones diarios de frecuencia cardíaca y gasto energético depende principalmente del horario de suministro y consumo del alimento. Sin embargo, para las vacas en pastoreo del T1, estos patrones también dependerían de otras actividades (Brosh et al., 2006a).

Las vacas del T2 comenzaron un incremento sostenido de su producción total de calor desde el suministro de la DTM a las 9:00 horas hasta el ordeño vespertino para luego comenzar a descender lentamente hasta el próximo ordeño. Dicho aumento estuvo asociado al calor generado tanto por el consumo de alimento como por su fermentación y digestión. La disminución progresiva durante la noche asociada al pico postsuministro de alimento nos podría estar indicando que los animales no estuvieron *ad libitum* en todo momento. Brosh et al. (1998a), Aharoni et al. (2005) encontraron patrones similares de producción total de calor para vacas Holando en condiciones estabuladas.

Por otro lado, las vacas del T1 presentaron dos picos importantes de producción total de calor, uno a las 8:00 y el otro a las 18:00 horas, posterior a

estos existe una caída de la producción total de calor que puede estar asociada con periodos de reposo y rumia. El pico cercano a 8:00 horas se asociaría al traslado al tinglado, consumo del suplemento y posterior traslado a la pastura. En cambio, el pico de las 18:00 horas se explicaría por una mayor actividad de pastoreo, esto se encuentra reportado por Chilibroste et al. (1997), quienes encontraron que un corto período de ayuno como lo es el tiempo asociado al ordeño induce a incrementos en la tasa de consumo y el tiempo de pastoreo durante la primera sesión de pastoreo. Esto no se expresa luego del ordeño matutino ya que el efecto ayuno generado por este se anula mediante el suministro del concentrado, por lo cual esto generó un cambio en la estrategia de pastoreo. Observando la variación de la producción total de calor durante los dos turnos de pastoreo se puede inferir que las vacas tuvieron un comportamiento activo durante la noche, esto podría corresponderse con patrones de consumo en este momento como ha sido reportado por Gibb (2006). En este sentido, Brosh et al. (2006b) encontraron sesiones de pastoreo nocturno trabajando con razas carniceras. Analizando dentro de cada turno existe una variabilidad generada por las diferentes sesiones de pastoreo, alternando momentos de pastoreo con descanso y rumia. A su vez, en el pastoreo vespertino se observó un aumento pronunciado en la producción total de calor desde las 20:00 horas, lo cual se puede asociar a una mayor actividad de pastoreo al atardecer como fue reportado por Rook et al. (1994), Gibb et al. (1997, Figura 9).

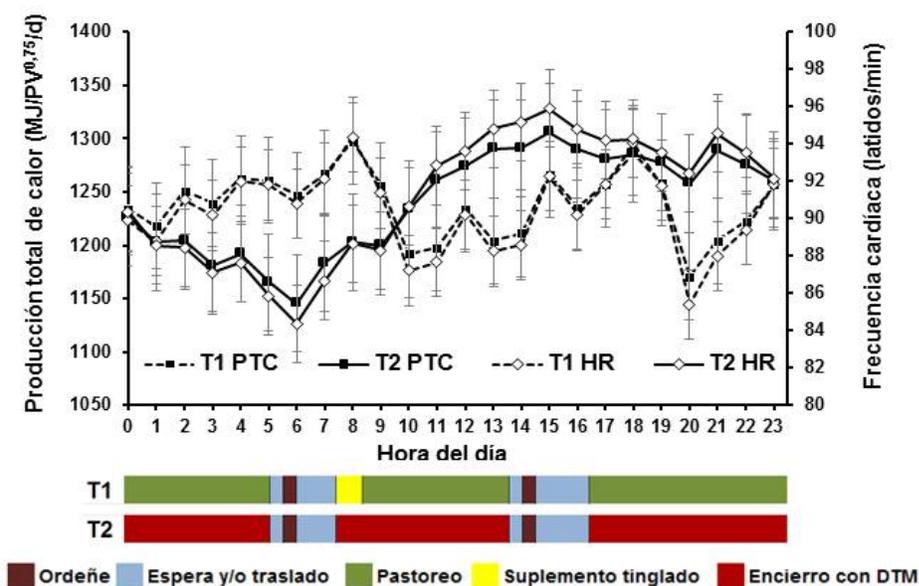


Figura 9. Evolución de la frecuencia cardíaca y la producción total de calor a lo largo del día según tratamiento.

Tal como indica la bibliografía internacional (Brosh et al. 2002, 2004, Dong et al. 2014) la producción total de calor aumentó a medida que el consumo de EM fue mayor (Figura 10). En cuanto a la EMm de los animales en ayuno se observó que el T1 presentó un valor 21% mayor que el T2. Por otro lado, cuando son comparados con el valor de $540 \text{ kJ/ kgPV}^{0.75}$ utilizado por el NRC (2001) se observó que las vacas del T1 tuvieron un 12% más mientras que las vacas del T2 un 8% menos. Se debe tener en cuenta que el método de estimación para la EMm mediante regresión lineal en el presente trabajo trae enmascarado los costos energéticos asociados a la actividad para caminata y pastoreo, mayor excreción de nitrógeno como consecuencia de una alta relación proteína: energía (Bruinenberg et al., 2002), aumento de la masa intestinal y actividad metabólica de los órganos por una mayor concentración de fibra en la dieta (Agnew y Yan, 2000). Por lo tanto, la EMm estimada no se corresponde puramente al costo de metabolismo basal.

Los requerimientos de energía para mantenimiento total calculados mediante el NRC (2001) fueron diferentes entre tratamientos ($P < 0,001$; Cuadro 4), lo cual se explica por los mayores requerimientos de ENmact de las vacas del T1 (datos no presentados), los cuales son 2,4 veces mayores debido a la actividad de pastoreo y a la mayor distancia recorrida por el traslado desde la pastura a la sala de ordeño. La tendencia observada de mayores requerimientos en ENmb para las vacas del T2 se explica por un mayor PV de estas respecto a las del T1 (datos no presentados).

La estimación de la eficiencia parcial del uso de la EM (k ; Figura 10) muestra que las vacas del T2 fueron más eficientes en la retención de la energía consumida que las del T1. Por otro lado, cuando se compara estos valores con el 0,62 empleado por el NRC (2001) en base a Moe y Tyrrell (1972) se observa que las vacas experimentales presentaron una menor eficiencia a la reportada por estos autores. Esto confirma la hipótesis de que los coeficientes utilizados por el NRC (2001) para la estimación de los requerimientos energéticos subestima la producción total de calor para las condiciones en que se desarrollan la mayoría de los sistemas lecheros de nuestro país. Sin embargo Xue et al. (2011) reportaron un valor promedio de k de 0,58 para vacas Holando en el total de la lactancia, estimado mediante cámaras calorimétricas siendo similar al obtenido en este trabajo a través de la técnica de pulso de O_2 .

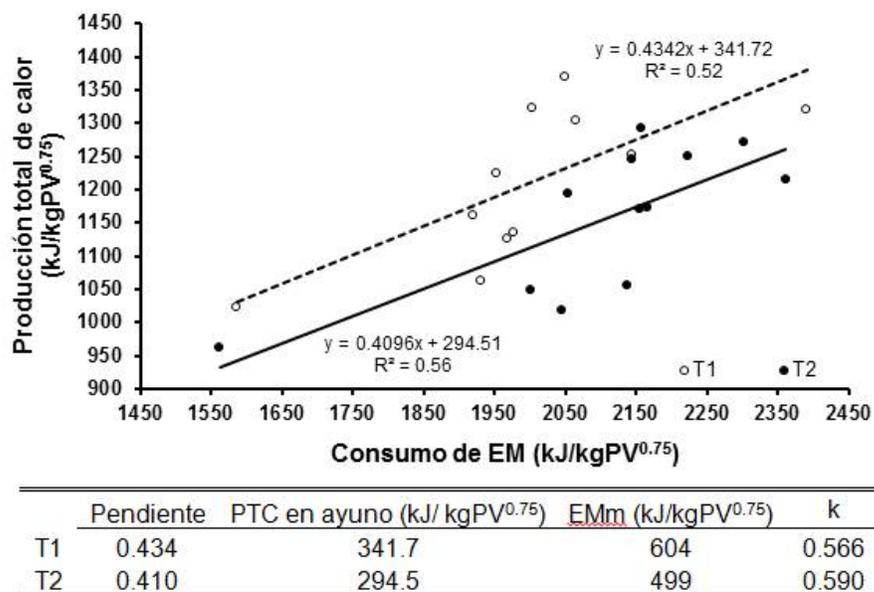


Figura 10. Producción total de calor en función al consumo de energía metabolizable.

5. CONCLUSIONES

No se encontraron diferencias entre las estrategias de alimentación evaluadas en cuanto a la producción de leche, ENL secretada en leche ni porcentaje de proteína, pero existió una fuerte tendencia a mayor porcentaje de grasa para las vacas suplementadas en pastoreo. La EMm estimada mediante regresión fue un 21% mayor para las vacas del T1 respecto al T2, comparando estos valores con los reportados por el NRC (2001) las vacas T1 tuvieron un 12% mayor de EMm, en cambio para las vacas del T2 fue un 8% inferior. El valor "k" de las vacas T1 fue menor a las del T2 (0,566 vs. 0,590), y a su vez ambos fueron inferiores al reportado por el NRC (2001). La frecuencia cardíaca, pulso de O₂ y producción total de calor disminuyeron al avanzar la lactancia pero no existieron diferencias entre tratamientos. Estos resultados obtenidos para la estimación del gasto energético mediante la técnica del pulso de O₂ concuerdan con los reportados por la bibliografía internacional, por lo que podría considerarse como una herramienta a futuro para su uso en nuevas investigaciones que permitan reforzar y generar nuevos coeficientes para ser aplicados a los sistemas de producción nacionales.

6. RESUMEN

La energía es el primer factor limitante para aumentar la productividad de los sistemas lecheros de base pastoril lo cual ha determinado estrategias de alimentación basadas en la inclusión de suplementos o dietas totalmente mezclada (DTM), principalmente al inicio de lactancia. El objetivo es cuantificar los componentes de la eficiencia y uso de la energía de vacas lecheras manejadas en dos sistemas de alimentación diferentes (pastoreo vs. DTM en estabulación) durante lactancia temprana (37 y 72 días posparto). Se utilizó un diseño en bloques completos al azar donde los animales ($n = 24$) fueron bloqueados según número de lactancia, fecha de parto, producción de leche anterior, PV y CC, y asignados al azar a uno de los dos tratamientos: (T1) vacas pastoreando *Festuca arundinacea* suplementadas con 5,36 kg MS/día de un concentrado energético y (T2) vacas en encierro alimentadas con 100% DTM. La producción de leche, grasa, y energía secretada en leche (ENL) no fue diferente ($P > 0,445$) entre tratamientos pero la producción de proteína tendió a ser mayor ($P = 0,076$) en T2 que T1. Entre los 37 y 72 días posparto, las vacas del T1 disminuyeron la producción de leche, grasa y ENL en leche mientras que las del T2 aumentaron su producción de leche y mantuvieron la producción de grasa y la secreción de ENL en leche. La energía retenida total fue mayor en las vacas del T2 ($P < 0,001$), coincidiendo con la mayor ($P = 0,013$) eficiencia de retención de la energía consumida observada para este tratamiento. La producción total de calor, medido mediante la técnica del pulso de O_2 , no difirió entre tratamientos ($P = 0,970$), mientras que de los 37 y 72 días se observó una disminución ($P < 0,001$). La estimación de la EMm fue $604 \text{ kJ/kgPV}^{0,75}$ para el T1 y $499 \text{ kJ/kgPV}^{0,75}$ para T2. En conclusión, no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la producción de leche y sólidos de las vacas suplementadas bajo pastoreo contra las que consumían DTM encerradas. Sin embargo pese a que la producción total de calor fue similar en ambos tratamientos, la eficiencia con la que retuvieron la energía consumida fue mayor para las vacas alimentadas con DTM.

Palabras clave: Gasto energético; Producción y composición de leche;
Lactancia temprana.

7. SUMMARY

Energy is the first limiting factor to increase grazing dairy systems productivity which has determined that feeding strategies based on the inclusion of supplements or totally mixed ration (TMR), mainly at the beginning of lactation are used. The objective of this work was to quantify energy balance components and efficiency of dairy cows managed in two different feeding systems (grazing vs. TMR in housing) during early lactation (37 and 72 postpartum days). A randomized complete block design was used where the Cows (n = 24) blocked according to number of lactation, date of birth, previous milk production, PV and CC were used in a randomized block designed with two treatments: (T1) cows grazing of *Festuca arundinacea* and supplemented with 5.36 kg DM/day of an energy concentrate and (T2) cows in confinement fed 100% TMR. Milk, fat, and energy secreted in milk (NEL) did not differ ($P > 0.445$) between treatments, but protein yield tended to be greater ($P = 0.076$) in T2 than T1. Between 37 and 72 postpartum days, T1 cows decreased milk and fat production and NEL milk output while T2 cows increased their milk yield and maintained fat production and NEL output in milk. Total retained energy was greater ($P < 0.001$) in the T2 than T1 cows, coinciding with a greater ($P = 0.013$) retention efficiency of the metabolizable energy consumed observed for this treatment. Total heat production, measured by the O_2 pulse technique, did not differ between treatments ($P = 0.970$), whereas a decrease ($P < 0.001$) was observed from 37 and 72 days. The estimate of EMm was 604 kJ/kgPV^{0.75} for T1 and 499 kJ/kgPV^{0.75} for T2. In conclusion, no significant differences were found in the milk and milk solids yield of cows supplemented under grazing against those fed TMR. However, despite the fact that total heat production was similar in both treatments, the retention efficiency of the metabolizable energy consumed was greater for cows that fed TMR.

Key words: Energy expenditure; Milk production and composition; Early lactation.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, Y.; Karlen, H.; Villanueva, N.; Mieres, J. M.; La Manna, A. 2010. Intensificación; el rol de la alimentación. In: Jornada Técnica de Lechería (2010, San José, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 55-62 (Actividades de Difusión no. 610).
2. Agnew, R. E.; Yan, T.; Gordon, F. J. 1998. Nutrition of the high genetic merit dairy cow-energy metabolism studies. In: Recent Advances in Animal Nutrition (1998, Nottingham, UK). Proceedings. Nottingham, UK, s.e. pp. 181–208.
3. Aharoni, Y.; Brosh, A.; Kourilov, 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. *Livestock Production Science*. 79 (2-3): 107 – 117.
4. _____; _____; Harari, Y. 2005. Night feeding for high-yielding dairy cows in hot weather; effects on intake, milk yield and energy expenditure. *Livestock Production Science*. 92:207–219.
5. _____; _____; Kafchuk, E. 2006. The efficiency of utilization of metabolizable energy for milk production; a comparison of Holstein with F1 Montbeliarde 3 Holstein cows. *Animal Science*. 82: 101 – 109.
6. _____; Henkin, Z.; Ezra, A.; Dolev, A.; Shabtay, A.; Orolv, A.; Yehuda, Y.; Brosh, A. 2009. Grazing behavior and energy costs of activity; a comparison between two types of cattle. *Journal of Animal Science*. 87:2719 – 2731.
7. Allen, M. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 83 (7): 1598 – 1624.
8. AOAC (Association of Official Analytical Chemists, US). 2000. Official methods of analysis of AOAC International. Washington, D. C., USA. s.p.
9. ARC (Agricultural Research Council, UK). 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Wallingford. 351 p.

10. Arieli, A.; Kalouti, A.; Aharoni, Y.; Brosh, A. 2002. Assessment of energy expenditure by daily heart rate measurement – validation with energy accretion in sheep. *Livestock Production Science*. 78:99-105.
11. Asher, A.; Shabtay, A.; Haim, A.; Aharoni, Y.; Miron, J.; Adin, G.; Tamir, A.; Arieli, A.; Halachmi, I.; Moallem, U.; Orlov, A.; Brosh, A. 2014. Time required to determine performance variables and production efficiency of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 97 (7): 4340 - 4353.
12. Astessiano, A. L.; Meikle, A.; Fajardo, F.; Gil, J.; Mattiauda, D. A.; Chilbroste, 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 Veterinaria Scandinavica*. 57 (1): 70-82.
13. 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. *Journal of Dairy Science*. 85 (11): 2948 –2963.
14. _____.; _____.; Kolver, E. S.; Delahoy, J. E. 2003. Invited review; production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*. 86 (1): 1 – 42.
15. Barkai, D.; Landau, S.; Brosh, A.; Baram, H.; Molle, G. 2002. Estimation of energy intake from heart rate and energy expenditure in sheep under confinement or grazing condition. *Livestock Production Science*. 73 (2): 237 – 246.
16. Berhana, T.; Puchala, R.; Goetsch, A. L.; Merkel, R. C. 2006. Effects of walking speed and forage consumption on energy expenditure and heart rate by alpine does. *Small Ruminants*. 63 (1): 119 – 124.
17. Blaxter, K. L. 1967. *The energy metabolism of ruminants*. London, UK, Hutchinson. pp. 110 – 112.
18. Brody, S. 1945. *Bioenergetics and growth*. New York, US, Reinhold. pp. 1 – 58.
19. Brosh, A.; Aharoni, Y.; Degen, A.; Wright, D.; Young, B. A. 1998a. 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.

20. _____; _____; _____; _____; _____. 1998b. Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in cattle maintained under different conditions. *Journal of Animal Science*. 76 (12): 3054 – 3064.
21. _____; _____; Korilov, P.; Orlov, A. 2001. Night feeding of growing cattle in hot summer relieves heat load and increases growth efficiency. *In: Annual Meeting of Western Section American Society of Animal Science (73rd, 2001, Bozeman, MT, US). Proceedings*. Bozeman, Montana State University. pp. 197 – 201.
22. _____; _____; Holzer, Z. 2002. Energy expenditure estimation from heart rate; validation by long-term energy balance measurement in cows. *Livestock Production Science*. 77 (2): 287 – 299.
23. _____; Henkin, Z.; Ungar, E. D.; Gutman, M.; Dolev, A.; Aharoni, Y. 2003. Grazing behavior and energy expenditure of cows during three seasons of the year; measurements by GPS and heart rate techniques. *In: International Symposium on the Nutrition of Herbivores (6th, 2003, Yucatán, México). Proceedings*. Mérida, Yucatán, México, University of Yucatán. pp. 385 – 389.
24. _____; _____; Orlov, A.; Aharoni, Y. 2006a. Diet composition and energy balance of cows grazing on Mediterranean woodland. *Livestock Production Science*. 102 (1): 11 – 22.
25. _____; _____; Ungar, E. D.; Dolev, A.; Orlov, A.; Yehuda, Y.; Aharoni, Y. 2006b. Energy cost of cows' grazing activity; the use of heart rate GPS methods for direct field estimation. *Journal Animal of Science*. 84:1951–1967.
26. _____. 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.

27. Bruinenberg, M. H.; Zom, R. L. G.; Valk, H. 2002. Energy evaluation of fresh grass in the diets of lactating dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 50 (1): 67 - 81.
28. Capper, J. L.; Cady, R. A.; Bauman, D. E. 2009. The environmental impact of dairy production; 1944 compared with 2007. *Journal of Animal Science*. 87 (6): 2160 - 2167.
29. Chambers, J. B.; Williams, T. D.; Nakamura, A.; Henderson, R. P.; Overton, J.-M.; Rashotte, M. E. 2000. Cardiovascular and metabolic responses of hypertensive and normotensive rats to one week of cold exposure. *American Journal of Physiology*. 279 (4): 1486 – 1494.
30. Chilbroste, P.; Tamminga, S.; Boer, H. 1997. Effect of length of grazing session, rumen fill and starvation time before grazing on dry matter intake, ingestive behaviour and dry matter rumen pool sizes of grazing lactating dairy cows. *Grass and Forage Science*. 52: 249 – 257.
31. _____; Mattiauda, D. A.; Bentancur, O.; Soca, O.; Meikle, A. 2012. Effect of herbage allowance on grazing behavior and productive performance of early lactation primiparous Holstein cows. *Animal Feed Science and Technology*. 173 (3): 201 – 209.
32. _____; Battegazore, G. 2015. Proyecto Producción Competitiva. Montevideo, CONAPROLE. 31 p.
33. Coates, D. B.; Penning, P. 2000. Measuring animal performance. In: t'Mannetje, L.; Jones, R. M. eds. *Field and laboratory methods for grassland and animal production research*. Wallingford, UK, CAB International. pp. 353 - 402.
34. Corbett, J. L.; Farrell, D. J.; Leng, R. A.; McClymont, G. L.; Young, B. A. 1971. Determination of the energy expenditure of penned and grazing sheep from estimates of carbon dioxide entry rate. *British Journal of Nutrition*. 26 (2): 277 – 291.
35. CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, AUS). 1990. Feeding standards for Australian livestock; ruminants. Melbourne. 266 p.

36. 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.
37. Di Marco, O. N.; Aello, M. S. 2001. Energy expenditure due to forage intake and walking of grazing cattle (en línea). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 53 (1): 105 – 110. Consultado 27 ago. 2017. Disponible en <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352001000100017>
38. Dohme-Meier, F.; Kaufmann, L. D.; Görs, S.; Junghans, P.; Metges, C. C.; Van Dorland, H. A.; 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.
39. Dong, L. F.; Yan, T.; Ferris, C. P.; McDowell, D. A. 2014. Comparison of maintenance energy requirement and energetic efficiency between lactating Holstein-Friesian and other groups of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 98 (2): 1136 – 1144.
40. Edmonson, A. J.; Lean, I. J.; Weaver, L. D.; Farver, T.; Webster, G. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 72 (1): 68 – 78.
41. Fajardo, M.; Mattiauda, D. A.; Motta, G.; Genro, T. C.; 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 Production Science*. 181: 51 – 57.
42. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2016. El estado mundial de la agricultura y la alimentación; cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria. Roma. 191 p.
43. Fedak, M. A.; Rome, L.; Sheeherman, H. J. 1981. One-step N₂- dilution technique for calibrating open-circuit VO₂ measuring systems. *Journal of Applied Physiology*. 51 (3): 772 – 776.

44. Fontaneli, R. S.; Sollenberger, L. E.; Littell, R. C.; Staples, C. R. 2005. Performance of lactating dairy cows managed on pasture-based or in freestall barn-feeding systems. *Journal of Dairy Science*. 88 (3): 1264 - 1276.
45. Froget, G.; Handrich, Y.; Le Maho, Y.; Rouanet, J. L.; Woakes, A. J.; Butler, P. J. 2002. The heart rate/oxygen consumption relationship during cold exposure of the king penguin; a comparison with that during exercise. *Journal of Experimental Biology*. 205 (16): 2511 – 2517.
46. Gibb, M. J.; Huckle, C. A.; Nuthall, R.; Rook, A. J. 1997. Effect of sward surface height on intake and grazing behaviour by lactating Holstein-Friesian cows. *Grass and Forage Science*. 52 (3): 309 – 321.
47. Havstad, K. M.; Malechek, J. C. 1982. Energy expenditure by heifers grazing crested wheatgrass of diminishing availability. *Journal of Range Management*. 35 (4): 447 – 450.
48. Haydock, K. P.; Shaw, N. H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 15: 663 – 670.
49. Henderson, Y.; Prince, A. L. 1914. The oxygen pulse and systolic discharge. *American Journal of Physiology*. 35: 106 – 115.
50. Henkin, Z.; Ungar, E. D.; Gutamn, M.; Dolev, A.; Brosh, A. 2003. Tracking beef cattle with GPS collars to study the impact of landscape and management on grazing behavior. In: *International Rangeland Congress (7th, 2003, Durban, Sudafrica)*. Proceedings. s.n.t. pp. 872 – 875.
51. Holmes, C. W.; Brookers, I. M.; Carrick, D. J.; Mackenzie, D. D. S.; Parkinson, T. J.; Wilson, G. F. 2002. *Milk production form pasture; principles and practices*. 2^{da}.ed.rev. y amp. Feilding, New Zealand, Butterworths. 602 p.
52. IFCN (International Farm Comparison Network, DE). 2014. *World dairy map 2014*. Result of the IFCN report 2013. Kiel, Germany, University Kiel. 177 p.

53. Kaufmann, L. D.; Münger, A.; Rérat, M.; Junghans, P.; Görs, S.; Metges, C. C.; Dohme-Meier, F. 2010. 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 Dairy Science*. 94 (4): 1989 – 2000.
54. Kennedy, E.; O'Donovan, M.; Murphy, J. P.; Delaby, L.; O'Mara, F. P. 2005. Effects of grass pasture and concentrate based feeding systems for spring calving dairy cows in early spring on lactation performance. *Grass Forage Science*. 60 (3): 310 – 318.
55. _____; _____; O'Mara, F. P.; Murphy, J. P.; Delaby, L. 2007. The effect of early-lactation feeding strategy on the lactation performance of spring-calving dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 90 (6): 3060 – 3070.
56. _____; Lewis, E.; Murphy, J. P.; 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 Dairy Science*. 98 (11): 7917 – 7929.
57. Ketelaars, J. H.; Tolkamp, B. J. 1996. Oxygen efficiency and the control of energy flow in animals and humans. *Journal of Animal Science*. 74 (12): 3036 – 3051.
58. Kolver, E. S.; Muller, L. D. 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*. 81 (5): 1403 – 1411.
59. Mattiauda, D. A.; Tamminga, S.; Gibb, M. J.; Soca, P.; Bentancur, O.; Chilibroste, P. 2013. Restricting access time a pasture and time of grazing allocation for Holstein dairy cows; ingestive behaviour, dry matter intake and milk production. *Livestock Science*. 152 (1): 53 – 62.
60. McDonald, P.; Edwards, R. A. Greenhalgh, J. F. D.; Morgan, C. A. 1999. *Nutrición animal*. 5^a. ed. Zaragoza, Acribia. 576 p.
61. McEvoy, M.; Kennedy, E.; Murphy, J. P.; Boland, T. M.; Delaby, L.; O'Donovan, M. 2008. The effect of herbage allowance and concentrate supplementation on milk production performance and dry matter intake of spring-calving dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 91 (3): 1258 – 1269.

62. McLean, J. A.; Tobin, G. 1990. Animal and human calorimetry. 2nd. ed. New York, Cambridge University. 338 p.
63. Meikle, A.; Adrien, M. D. 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. *Animal Feed Science Technology*. 186 (2): 139 – 147.
64. Mendoza, A.; Cajaraville, C.; De La Quintana, E.; Garmendia, M. E.; Mutuberría, E.; De Torres, E.; Repetto, J. L. 2012. Milk yield and composition of dairy cows fed diets combining pasture and total mixed ration. *Journal of Dairy Science*. 99 (11): 8779 - 8789.
65. 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 (6): 843 - 848.
66. Moe, P. W.; Tyrrel, H. F. 1972. Metabolizable energy requirements of pregnant dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 55 (4): 480 – 483.
67. Nagy, K. A. 1989. Field bioenergetics; accuracy of models and methods. *Physiological Zoology*. 64 (2): 237 - 252.
68. Neave, H. W.; Lomb, J.; Von Keyserlingk, M. A. G.; Behnam-Shabahang, A.; Weary, D. M. 2016. Parity differences in the behavior of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 100 (1): 548 – 561.
69. Nicholls, D.; Ferguson, S. 2013. Bioenergetics. 4th. ed. London, Academic Press. 434 p.
70. NRC (National Research Council, US). 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. Washington, D. C., National Academy Press. 168 p.
71. _____. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th. rev. ed. Washington, D. C., National Academy Press. pp. 13 – 27.

72. Ørskov, E. R.; Grubb, D. A.; Kay, R. N. 1977. Effect of post ruminal glucose or protein supplementation on milk yield and composition in Friesian cows in early lactation and negative energy balance. *British Journal Nutrition*. 38 (3): 397 - 405.
73. Osuji, P. O. 1974. The physiology of eating and the energy expenditure of the ruminant at pasture. *Journal of Range Management*. 27:437 – 443.
74. Puchala, R.; Tovar-Luna, I.; Goetsch, A. L.; Sahlu, T.; Carstens, G. E.; Freetly, H. C. 2006. The relationship between heart rate and energy expenditure in Alpine, Angora, Boer and Spanish goat wethers consuming different quality diets at level of intake near maintenance or fasting. *Small Ruminant Research*. 70 (2): 183 - 193.
75. Puillet, L.; Réale, D.; Friggens, N. C. 2016. Disentangling the relative roles of resource acquisition and allocation on animal feed efficiency; insights from a dairy cow model. *Genetics Selection Evolution*. 48: 72 - 88.
76. Purwanto, B. P.; Abo, Y.; Sakamoto, R.; Furumoto, F.; Yamamoto, S. 1990. Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. *Journal of Agricultural Science*. 114: 139 - 142.
77. Robertshaw, D.; Rawson, R. E. 2001. Heart rate and oxygen consumption: The effect of heat dissipation. In: World Congress of the International Union of Physiological sciences (34th., 2001, Christchurch, New Zealand). Proceedings. s.n.t. s.p.
78. Rook, A. J.; Huckle, C. A.; Wilkins, R. J. 1994. The effects of sward height and concentrate supplementation on the performance of spring calving dairy cows grazing perennial ryegrass-white clover swards. *Animal Production*. 58: 167 - 172.
79. Shargal, E.; Brosh, A.; Choshniak, I. 2001. Heart rate as measure of energy expenditure and energy intake in the black Bedouin goat. In: World Congress of the International Union of Physiological Sciences (34th., 2001, Christchurch, New Zealand). Proceedings. s.n.t. s.p.

80. _____. 2006. Validation of minute-by-minute heart rate monitoring as an estimate of energy expenditure in free-living animals. PhD. Thesis. Ramat Aviv, Israel. Tel-Aviv University. s.p.
81. Soriano, F. D.; Polan, C. E.; Miller, C. N. 2001. Supplementing pasture to lactating Holsteins fed a total mixed ration diet. *Journal of Dairy Science*. 84 (11): 2460 – 2468.
82. Sprunck, M.; Mattiauda, D. A.; Motta, G.; Fajardo, M.; Chilibroste, P. 2012. Response of post partum dairy cows to contrasting feeding strategies; grazing plus supplements vs. confinement on milk and solids production. *Journal of Dairy Science*. 95 (suppl. 2): 486.
83. Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise*. 12: 57 – 59.
84. Ungar, E. G.; Henkin, Z.; Gutman, M.; Dolev, A.; Genizi, A.; Ganskopp, D. 2005. Inference of animal activity from GPS collar data on free-ranging cattle. *Rangeland Ecology & Management*. 58: 256 – 266.
85. Vandehaar, M. J.; Armentano, L. E.; Weigel, K.; Spurlock, D. M.; Tempelman, R. J.; Veerkamp, R. 2016. Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency. *Journal of Dairy Science*. 99 (6): 4941 - 4954.
86. Van Soest, P. V.; Robertson, J. B.; Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74 (10): 3583 – 3597.
87. Vibart, R. E.; Vivek, F.; Burns, J. C.; Huntington, G. B.; Green JR., J. T. 2008. Performance of lactating dairy cows fed varying level of total mixed ration and pasture. *Journal of Dairy Research*. 75 (4): 471 – 480.
88. Von Keyserlingk, M. A.; Olenick, D.; Weary, D. M. 2008. Acute behavioral effects of regrouping dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 91 (3): 1011 - 1016.
89. Wenk, C.; Colombani, P. C.; Van Milgen, J.; Lemme, A. 2001. Glossary; terminology in animal and human energy metabolism. In: *Symposium on Energy Metabolism in Animals (15th, 2000, Snekersten, Denmark)*. Proceedings. Wageningen, Netherlands, EEAP Publishing. pp. 409 – 421.

90. White, S. L.; Benson, G. A.; Washburn, S. P.; Green, J. T. Jr. 2002. Milk production and economic measures in confinement or pasture systems using seasonally calved Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science*. 85 (1): 95 – 104.
91. Xue, B.; Yan, T.; Ferris, C. F.; Mayne, C. S. 2011. Milk production and energy efficiency of Holstein and Jersey-Holstein crossbred dairy cows offered diets containing grass silage. *Journal of Dairy Science*. 94 (3): 1455 – 1464.
92. Young, B. A.; Webster, M. E. D. 1963. A technique for the estimation of energy expenditure in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*. 14: 867 – 873.
93. _____; Corbett, J. L. 1972. Maintenance energy requirement of grazing sheep in relation to herbage availability; I. Calorimetric estimates. *Australian Journal of Agricultural Research*. 23 (1): 57 - 76.