

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFFECTO DE LA CAMINATA EN LAS RESPUESTAS PRODUCTIVAS DE
VACAS LECHERAS**

por

Fiorella PASTORINO SOLANO
María Paz VELA KIDD

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO
URUGUAY
2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Mariana Carriquiry

Codirectora:

Lic. Ges. Agr. (Mag.) Alejandra Jasinsky

Tribunal:

Ing. Agr. (Dra.) Ana Carolina Espasandin

Dr. Vet. (Dr.) Alberto Casal

Ing. Agr. (Dra.) Mariana Carriquiry

Fecha:

22 de julio de 2026

Estudiante:

Fiorella Pastorino Solano

María Paz Vela Kidd

Dedicamos nuestra tesis final de grado a Martha Rodríguez y Julia Melo.

AGRADECIMIENTOS

A la familia Pastorino Solano, Andrés, Analía, Micaela y Rafael, así como también a la familia Vela Kidd, Víctor, Nidia, Lucia, Felipe y Danielo por el apoyo incondicional a lo largo de la carrera tanto en lo afectivo, como en lo económico, siendo un pilar fundamental para la culminación de este recorrido.

A nuestros compañeros, Matías Rodríguez y Rodrigo Milsev por siempre dar una mano sin importar que, acompañar horas eternas de estudio con unos mates alegrarse por nuestros logros con nosotras como si fuesen suyos, y acompañar cuando los resultados no eran los esperados, pero siempre intentado sacarnos una sonrisa, todos los años de la carrera siempre ahí para nosotras.

A nuestros futuros colegas, amigos y compañeros, por las vivencias compartidas, horas de estudio, jodas, salidas de campo, mates, chops y mucho más...

A nuestra tutora Mariana Carryquiri, así como también, a nuestra co – tutora Alejandra Jasinsky. A todo el equipo del tambo de la EEMAC, por su disposición y voluntad a la hora de hacer cualquier actividad, por la atención, la ayuda y la paciencia en las semanas que conllevo la práctica del trabajo y por todos los temones pasados en el ordeño de las 4am cuando el cuerpo solo pensaba en quedarse durmiendo. Así como también a Karol y Patricia trabajadoras de la biblioteca de la EEMAC que nos salvaron de más de una, siempre dispuestas a ayudarnos.

Agradecemos también, a la Facultad de Agronomía, por la disposición de funcionarios y profesores para culminar este período.

Y, por último, a este equipo que se banco madrugones a las 3am en los meses más fríos del año, donde nunca faltó la buena onda y el mate de por medio. Fueron días largos, con caminatas de 8km pero que estuvieron llenas de anécdotas, chismes, risas y fotos. Equipo que arrancó sin saber bien que era o que hacía un HOVO, persiguiendo vacas que se quedaban para atrás y había que salir a buscarlas en camioneta, y también aprendiendo a paleaban comederos, y aun así logró terminar esta práctica y esta carrera de la mejor manera.

¡¡MUCHAS GRACIAS!!

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS	5
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
LISTA DE ABREVIACIONES	8
RESUMEN	9
SUMMARY	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 URUGUAY COMO PAÍS PRODUCTOR Y EXPORTADOR LÁCTEO ...	13
2.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE URUGUAYOS	13
2.3 CONSUMO Y PARTICIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA ENTRE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO.....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO	18
3.1.1 LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN TEMPORAL DEL EXPERIMENTO.....	18
3.1.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS	18
3.1.3 ANIMALES, DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS	19
3.1.4 CÁLCULOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	21
4. RESULTADOS	23
5. DISCUSIÓN	26
6. CONCLUSIÓN	28
7. BIBLIOGRAFÍA	29

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Ingredientes y composición química de la TMR ofrecida durante el experimento	21
Tabla 2 Respuesta productiva de vacas en tratamiento con caminata y sin caminata.....	24
Tabla 3 Consumo, partición de la energía y eficiencia alimenticia de vacas con y sin caminata	25
 Figura 1 Partición de la energía consumida en rumiantes.....	15
Figura 2 Diagrama de los tratamientos y las variables medidas.....	18
Figura 3 ITH diario para los meses de julio y agosto	19
Figura 4 Porcentaje de días con valor del ITH mayor a 72	19

LISTA DE ABREVIACIONES

<i>Abreviatura</i>	<i>Significado</i>
MS	Materia seca
PV	Peso vivo
CC	Condición corporal
CAM	Tratamiento con caminata
SIN – CAM	Tratamiento sin caminata
CMS	Consumo de materia seca
EM	Energía metabolizable
ER – tejido	Energía retenida en tejido
TMR	Ración totalmente mezclada
ER – leche	Energía retenida en leche
CEM	Consumo de energía metabolizable
LPE	Leche entera en polvo
ECM	Leche corregida por energía
VO	Vaca en ordeño
VM	Vaca masa
PDR	Proteína degradable en rumen
EB	Energía bruta
IC	Incremento calórico
ED	Energía digestible
EN	Energía neta
ENm	Energía neta de mantenimiento
BEP	Balance energético positivo
ITH	Índice de temperatura y humedad
ML	Muestras de leche
PC	Proteína cruda
FDN	Fibra detergente neutro
FDA	Fibra detergente ácido
NFC	Carbohidratos no fibrosos
EE	Extracto etéreo
ENL	Energía neta de lactación
KI	Eficiencia de utilización de la EM para la producción de leche
ER – total	Energía retenida total
NEFA	Ácidos grasos no esterificados

RESUMEN

La producción lechera en Uruguay se caracteriza por presentar principalmente sistemas de base pastoril, donde la eficiencia en el uso de la energía consumida por las vacas lecheras constituye un factor clave para la competitividad del mismo. En estos sistemas, la actividad física asociada al desplazamiento de los animales hacia y desde la sala de ordeño y las áreas de alimentación puede incrementar los requerimientos energéticos de mantenimiento y afectar la partición de la energía entre mantenimiento y producción. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la caminata sobre las respuestas productivas de vacas lecheras y su impacto en la eficiencia de utilización de la materia seca (MS) y de la energía consumida. El experimento se realizó en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC), Facultad de Agronomía, Universidad de la República (Udelar), durante los meses de julio y agosto del año 2024. Se utilizaron 24 vacas Holando en lactancia media ($15,7 \pm 2,6$ semanas en leche), con un peso vivo (PV) promedio de 634 ± 40 kg y condición corporal (CC) de $2,77 \pm 0,06$ unidades, asignadas a dos tratamientos: vacas sin caminata (SIN-CAM; $n=12$) y vacas sometidas a una caminata de 8 km diarios (CAM; $n=12$). Los resultados obtenidos, demostraron que la caminata no afectó ($P \geq 0,14$) la producción de leche ni su composición, así como tampoco el consumo de materia seca (CMS) o de energía metabolizable (EM). Sin embargo, en cuanto a los cambios de PV y CC fueron diferentes entre tratamientos ($P \leq 0,04$). Las vacas SIN-CAM presentaron una ganancia de PV y mantuvieron su CC, mientras que las vacas CAM mantuvieron su PV, pero disminuyeron su CC, evidenciando el uso de energía consumida para esta actividad. En concordancia, la energía retenida en tejido (ER-tejido) fue mayor en vacas SIN-CAM ($P=0,03$). Por lo tanto, la eficiencia de uso de la energía para producción de leche ajustada por los cambios de PV y CC fue menor para las vacas CAM que SIN-CAM (SIN-CAM = 1,42; CAM = 1,17; ES=0,08). En conclusión, la caminata diaria de 8 km en vacas lecheras en lactancia media no afectó la producción ni la composición de la leche, pero incrementó el gasto energético de mantenimiento, reduciendo la deposición de reservas corporales y la eficiencia en el uso de la energía consumida.

Palabras clave: energía, caminata, ganado, producción

SUMMARY

In pasture-based dairy systems predominant in Uruguay, the efficiency of energy utilization by dairy cows is a key factor for the competitiveness and sustainability of the sector. In these systems, physical activity associated with the movement of cows between the milking parlor and feeding or grazing areas may increase maintenance energy requirements and affect the partitioning of energy between maintenance and production. The objective of this study was to evaluate the effect of walking activity on the productive performance of dairy cows and its impact on dry matter intake (DMI) and energy utilization efficiency. The experiment was conducted at the “Dr. Mario A. Cassinoni” Experimental Station (EEMAC), Faculty of Agronomy, Universidad de la República, during July and August 2024. A total of 24 Holstein cows in mid-lactation (15.7 ± 2.6 weeks in milk), with an average body weight (BW) of 634 ± 40 kg and body condition score (BCS) of 2.77 ± 0.06 units, were assigned to two treatments: cows without walking activity (SIN-CAM; $n = 12$) and cows subjected to a daily walking distance of 8 km (CAM; $n = 12$). Results showed that walking activity did not affect ($P \geq 0.14$) milk yield, energy-corrected milk yield, milk composition, DMI, or metabolizable energy (ME) consumption. However, regarding changes in BW and BCS differed between treatments ($P \leq 0.04$). SIN-CAM cows gained BW and maintained BCS, whereas CAM cows maintained BW but experienced a reduction in BCS, indicating greater energy expenditure associated with physical activity. Accordingly, the energy retained in tissue (ER-tissue) was greater in without walking activity cows ($P=0.03$). Thus, adjusted gross energy efficiency was less for CAM than SIN-CAM cows (SIN-CAM = 1,42; CAM = 1,17; ES=0,08). In conclusion, a daily walking distance of 8 km in mid-lactation dairy cows did not affect milk yield, milk composition, DMI. However, walking increased maintenance energy expenditure, reducing body reserve deposition and decreasing the efficiency of energy utilization.

Keywords: energy, walking, cattle, production

1. INTRODUCCIÓN

Uruguay cuenta con 3.042 establecimientos lecheros, con una tendencia a la concentración e intensificación del sector, en 2023, la producción de leche alcanzó los 2.275 millones de litros según reporta la Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA, 2024), siendo la Cooperativa Nacional de Productores de Leche (CONAPROLE) responsable del procesamiento del 71% de este volumen (Barboza, 2022). Aunque la lechería ocupa solo el 5% del territorio nacional, produce suficiente leche para alimentar anualmente a más de 20 millones de personas, establece la Red Tecnológica de la Cadena Láctea (RTCL, 2025a), lo que lo posiciona en el noveno exportador mundial de leche, con acceso a más de 60 mercados internacionales (RTCL, 2025b).

El mercado mundial de lácteos presenta una alta volatilidad, lo que impacta directamente en la sostenibilidad del sector. En Uruguay, la intensificación ha llevado a una reducción del 20% en el número de tambos desde 2015 (DIEA, 2024), pero ha incrementado la producción debido a una mayor carga animal y mejoras en la performance individual (Chilibroste & Fariña, 2019). En este contexto, Uruguay, como país exportador, enfrenta la necesidad de reducir costos de producción, incrementando la eficiencia de producción.

Los sistemas de producción de leche predominantes en el Uruguay son los sistemas mixtos de base pastoril, que combinan la práctica de pastoreo con la suplementación de concentrados y reservas forrajeras, con el objetivo de optimizar el uso del recurso pastoril y superar la restricción energética de las pasturas, ya que el nutriente limitante en vacas lecheras bajo pastoreo es la energía (Bargo et al., 2002) y la suplementación permite alcanzar producciones mayores y más estables (Pulido & Leaver, 2001). Un aspecto distintivo de estos sistemas es la reducción en los costos de alimentación frente a los sistemas confinados basados en raciones totalmente mezcladas (TMR), lo que mejora la rentabilidad del sistema y los hace más competitivos, dado que la alimentación representa el 50% del costo total del litro de leche (Hazard, 2004). Además, al basarse la dieta en pasturas, se favorece la salud ruminal lo que aumenta la eficiencia de utilización del recurso forrajero para producir leche. Sin embargo, estos sistemas presentan importantes desafíos como el CMS y gasto energético que condicionan la eficiencia alimenticia de las vacas. Por un lado, el CMS y energía está limitado por la baja densidad energética del forraje, las restricciones en el tiempo y la tasa de pastoreo, y la variabilidad estacional en la calidad y disponibilidad del pasto.

Por otro lado, el gasto energético se ve incrementado por la mayor actividad física asociada al desplazamiento del ganado desde y hacia la plataforma de pastoreo y sala de ordeño, así como a la actividad de pastoreo. Bargo et al. (2002) reportan que los requerimientos de mantenimiento por actividad aumentan hasta 5,4 Mcal/d, lo que se traduce en 8,4 kg/d de leche. En particular, la distancia promedio recorrida por una vaca lechera varía entre 2 a 8 kilómetros por ordeño, a un paso de entre 2 a 3 kilómetros por hora, estos valores pueden variar significativamente según el sistema de manejo y las condiciones específicas de cada establecimiento. Sin embargo, a pesar de que la caminata puede representar un gasto energético importante en vacas lecheras en pastoreo, la información es escasa y, la mayoría está basada en investigaciones en bovinos de carne y es contradictoria (Aharoni et al., 2009; Brosh et al., 2006; Di Marco & Aello, 1998).

En este contexto, el presente trabajo busca evaluar el efecto de la caminata sobre la partición de la energía consumida entre mantenimiento y producción y, la eficiencia

alimenticia energética de vacas lecheras. Se hipotetiza un impacto de la caminata sobre el nivel de producción de leche tanto en cantidad como en composición de sólidos, así como de forma indirecta a través de cambios en el PV y CC de las vacas.

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la actividad de caminar hacia y desde la pastura a la sala de ordeño sobre las respuestas productivas de vacas lecheras y su impacto sobre la eficiencia de uso de la MS y energía consumida.

1.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo fueron evaluar el impacto de la caminata (8 vs. 0 km) en vacas lecheras en lactancia media sobre:

- La producción y composición de leche, y la energía retenida en leche (ER-leche)
- Los cambios en el PV y en la CC
- El CMS y el consumo de energía metabolizable (CEM)
- La eficiencia de conversión alimenticia y de uso de la EM consumida.

A través del proyecto se indaga acerca del efecto de una menor disponibilidad de la energía consumida para la producción de leche, tanto de manera directa (volumen y composición) como también de forma indirecta a través de las variables de PV y CC. Nuestra hipótesis es que las vacas lecheras que caminan 8 km/d presentarán un impacto negativo en la producción y composición de leche como también presentarán un menor PV y CC en comparación con aquellas que no caminan.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Uruguay como país productor y exportador lácteo

En Uruguay existen aproximadamente 3.042 establecimientos lecheros y una marcada intensificación en el sector lechero en nuestro país la cual se ha reflejado en una disminución del 20% en el número de establecimientos desde el periodo 2015/16 al 2022/23, así como también una menor superficie destinada a la lechería, pero con incrementos en la producción remitida a planta (DIEA, 2024).

Para el año 2023 la producción de leche fue de 2.725 millones de litros, de los cuales 2.114 millones se remitieron a planta (DIEA, 2024). CONAPROLE se lleva el protagonismo en la fase industrial de la cadena láctea con el 71% de la leche remitida, seguido por Estancias del Lago con 10% (Barboza, 2022). En ese mismo año, el Instituto Nacional de la Leche (INALE) registró un 73% de la producción de leche con destino exportador, siendo los principales países compradores Brasil y Argelia, el principal producto de exportación es la leche entera en polvo (LPE) con 158.617 ton, le siguen productos como quesos, manteca y leche larga vida – UHT (Di Candia, 2025).

Las exportaciones de productos lácteos alcanzaron los USD 853,6 millones, con Brasil como principal destino (43%), seguido por Argelia (20%), México (4%) y Rusia (4%) (Di Candia, 2025). Según Barboza (2022) a nivel internacional, la demanda de China (principal demandante de lácteos) disminuyó debido a su desaceleración económica. En cuanto a las importaciones, aumentaron en 2021, lideradas por Argentina y Brasil. Para el mismo año, se registraron compras por USD 17 millones en donde los productores recibieron un 21% más en pagos, aunque enfrentaron un aumento similar en los costos, principalmente por el alza en concentrados, la sequía también impactó fuertemente, elevando los gastos en alimentación por la necesidad de importar suplementos para el ganado (Barboza, 2022).

El mercado mundial de lácteos presenta una alta volatilidad de precios y costos, lo que resulta desafiante y pone en juego la sostenibilidad de los sistemas lecheros. El precio de la leche presenta oscilaciones importantes a lo largo del ejercicio agrícola, y es proyectado por Fonterra. Este valor se ve afectado por una diversidad de factores, tales como el tipo de cambio (el descenso de este reduce los costos de producción en pesos uruguayos) y la oferta y demanda. Los sistemas de producción bajo pastoreo presentaron en el año 2024 un costo de producción de 0,31 U\$S/kg ECM (Chilibroste & Fariña, 2019).

Uruguay tiene una marcada orientación hacia la exportación, sin embargo, a nivel mundial el volumen producido es bajo y como consecuencia es un país tomador de precios (Observatorio de la Cadena Láctea Argentina, 2025). Al ser un país tomador de precios en un mercado tan fluctuante en números, se torna fundamental la disminución en los costos de producción, principalmente los costos de alimentación que representan alrededor del 50% del total (Hazard, 2004). Los sistemas pastoriles se destacan por lograr menores costos de alimentación y consecuentemente un mayor margen de alimentación.

2.2 Sistemas de producción de leche uruguayos

A nivel nacional predominan los sistemas productivos mixtos de base pastoril, es decir, el componente base en la dieta de los animales productivos es la pastura, ya sea que se utilice con pastoreo o como alternativa forrajera praderas y/o verdeos. Nuestros

sistemas no son exclusivamente pastoriles ya que esto implicaría un CMS y de energía restringido, por lo cual la estrategia de suplementación en combinación con la práctica de pastoreo logra levantar la restricción energética de la pastura concluyendo en una mayor y más estable producción de leche, de ello deriva el éxito de estos sistemas. A su vez, se destaca el uso de la raza Holstein fundamentalmente de origen norteamericano que representa el 85% del rodeo nacional (Krall Schroder, 2021).

Según la base de datos del Proyecto de Producción Competitiva los indicadores productivos promedio para el ejercicio 2022 – 2023 fueron 20,4 litros/VO/día, 6.836 litros/ha VM, con indicadores de eficiencia de 74 kg sólidos producidos en leche por tonelada de MS consumida y una relación VO/VM de 84% (CONAPROLE, comunicación personal, 4 de agosto, 2023). Estos indicadores comparativamente con otros sistemas pastoriles mixtos como lo son en Nueva Zelanda, Australia y Argentina, posicionan a nuestro país junto con Argentina en valores por debajo de los 7 mil litros de leche corregida por energía (ECM)/ha, mientras que Australia y Nueva Zelanda se encuentran por encima de los 10 mil litros de ECM/ha (Chilibroste & Fariña, 2019). Por otra parte, Chilibroste y Fariña (2019) expresan que tanto Estados Unidos, Oceanía, y los países Sudamericanos, presentan costos de producción por debajo de 0,34 U\$S/kg ECM, sin embargo, países como Irlanda y Holanda alcanzan 0,45 – 0,54 U\$S/kg ECM. El sistema de Uruguay alcanzó el costo de producción más bajo con 0,31 U\$S/kg ECM, evidenciando así su alta competitividad (Chilibroste & Fariña, 2019).

Debido a que el principal componente de la dieta en los sistemas mixtos está conformado por la pastura, se logra mantener un rumen saludable y funcional encontrándose niveles estables y aceptables de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico) acompañado de valores de pH que permiten la mayor eficacia en el proceso de obtención de energía de los carbohidratos estructurales de los forrajes al mejorar la degradabilidad de estos, por parte de la flora celulolítica (Blanco, 1999).

Otra ventaja de los sistemas pastoriles es que la leche bovina contiene ácidos grasos insaturados con beneficios para la salud humana que son anticancerígenos y antiinflamatorios, como ALC-c9t11, y su cantidad está determinada principalmente por la dieta, aumentando la misma con el consumo de forraje (Prieto-Manrique et al., 2017).

Por otra parte, en lo que limita la producción de leche en este tipo de sistemas es importante considerar los siguientes aspectos, por un lado, el hecho de que la concentración energética es insuficiente para cumplir con los requerimientos totales de energía para el potencial y máxima producción en vacas lecheras. A pesar de que el recurso forrajero disponible presente alta asignación y de buena calidad, es decir no limiten per se la producción, de todas maneras, con el CMS restringido y energía no se llega al potencial. Como consecuencia también es que los animales pueden mantener o perder reservas corporales. Además, puede haber una limitante en la producción dada por desbalances a nivel ruminal en términos de disponibilidad de energía fermentable y exceso de PDR (Dillon, 2006). El aumento en el requerimiento de mantenimiento por acceso, búsqueda, aprehensión y cosecha de forraje puede incrementar hasta un 20% (Jasinsky, 2019).

La eficiencia de conversión del alimento a leche es un factor de competitividad importante, donde Uruguay compite con problemas. Para el caso de 357 establecimientos estudiados, se determinó una eficiencia de 1,1 L leche/kg MS consumida, algo que se corresponde en mayor medida con un sistema exclusivamente pastoril y no de un sistema

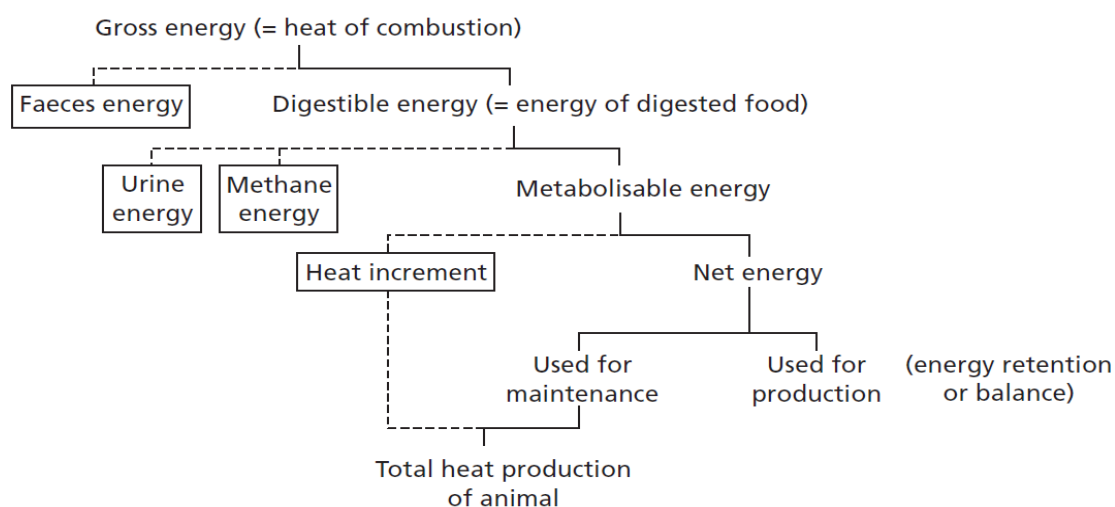
mixto (predominante), el cual tendría un valor de eficiencia mayor (*¿Dónde compite bien el sector primario lechero del Uruguay y donde no?*, s.f.). Si bien hay escasa información acerca de este tema, la eficiencia puede ser considerada baja a nivel nacional pudiendo resultar una limitante en aquellos sistemas en los que no se utiliza estratégicamente la suplementación (Pedemonte & Vázquez, 2022).

2.3 Consumo y partición de la energía consumida entre producción y mantenimiento

El organismo animal obtiene energía a partir del alimento o en función del estado fisiológico de la movilización de tejidos corporales.

Figura 1

Partición de la energía consumida en rumiantes



Nota. Tabla extraída de McDonald et al. (2011).

La energía bruta (EB), es la energía liberada como calor cuando una sustancia orgánica es oxidada completamente a dióxido de carbono y agua, la misma refiere a la energía química contenida en los alimentos (Mendoza-Martínez et al., 2008). No toda la EB es utilizada en el metabolismo animal, debido a ineficiencias en los procesos digestivos y metabólicos se presentan pérdidas de energía en heces, orina, gases, principalmente metano (CH_4) y calor, bajo la denominación de incremento calórico (IC). La energía digerible (ED) es la de los alimentos que es potencialmente absorbida por el animal. Una vez descontadas las pérdidas de energía en orina principalmente en forma de urea y gases, (particularmente CH_4 , producto de la fermentación ruminal), se obtiene la EM. La pérdida de energía bajo la forma de CH_4 , constituye de un 7 a un 9% de las pérdidas de EB y de un 11 a 13% de la ED (McDonald et al., 2011). Además, no toda la EM consumida, disponible para el metabolismo animal es usada con un 100% de eficiencia para mantenimiento y producción, sino que existe un incremento en la producción de calor por aumento del consumo (IC) asociado a los procesos de digestión y fermentación de los alimentos y el consecuente metabolismo de los nutrientes que no se traduce en trabajo fisiológico. La diferencia entre EM e IC es la energía neta (EN), es decir, aquella disponible para funciones de mantenimiento y/o retención de energía en producto animal (leche o tejido).

Cabe mencionar que las vacas en sistemas de base pastoril presentan una mayor pérdida de la EB en forma de heces, debido al elevado contenido de fibra con constituyentes como celulosa y lignina, una mayor pérdida de energía también en forma de CH₄ debido a una mayor fermentación ruminal, con la consecuente producción de calor. A su vez, altos contenidos de PDR y bajas relaciones proteína: energía en dietas forrajeras incrementa la pérdida de energía en la orina por aumento de la producción de urea hepática, resultado de la desaminación de los aminoácidos al ser usados los cetoácidos como fuente de energía o como precursores para la síntesis de glucosa o ácidos grasos. Se ha indicado también que al masticar alimentos fibrosos genera más calor que puede implicar del 3 al 6% del consumo de EM siendo el calor producido por la rumia mucho menor, encontrándose alrededor del 0,3% del CEM (McDonald et al., 2011). La energía neta de mantenimiento (ENm) es la energía utilizada para sustentar a un animal que no gana ni pierde peso en un estado post absortivo, en un entorno termoneutral y en reposo. En un balance energético positivo (BEP), toda la ENm se pierde en forma de calor. Los requerimientos de ENm consisten en mantener las funciones corporales básicas como la respiración, digestión y circulación, en reposo e incluye funciones de metabolismo basal, termorregulación y actividad. El metabolismo basal es el resultado del cambio químico a nivel celular en estado de reposo y ayuno, utilizándose la energía para el mantenimiento de la actividad celular vital, la respiración y circulación (Baldwin, 1995).

La termorregulación consiste en mantener la temperatura corporal (animales homeotermos) dentro de un rango denominado normal (38-39°C) (Pérez García & Salgado, 2020). Entre ciertos valores de temperatura y humedad medidos a través del índice de temperatura y humedad (ITH) existe una zona de termo confort/termoneutral, donde no hay un costo energético extra por la propia regulación de la temperatura corporal, debido a la generación o disipación de calor por encima de los requerimientos. El rango de confort térmico para ganado Holando es 5 - 21°C, con 50% de humedad relativa y una velocidad del viento de 5 - 8 km/hora (Bartaburu, 2007). En forma general se ha reportado históricamente que a partir de un ITH de 72 la performance animal se ve afectada (Johnson et al., 1961).

La energía destinada a la actividad integra el proceso de pastoreo que consiste en la búsqueda y cosecha de forraje, así como la caminata realizada por las vacas lecheras al trasladarse dos veces al día hacia y desde la sala de ordeño y la pastura. En lo que respecta a la actividad de caminata, se debe tomar en cuenta la distancia recorrida, la velocidad y la pendiente a la cual se realiza. Las distancias recorridas por vacas lecheras varían entre 2 a 8 kilómetros por ordeño, a un paso de entre 2 a 3 kilómetros por hora (Di Marco & Aello, 2003). Los resultados del experimento de Talmón Travers (2025) determinaron un valor de costo energético de caminata de 24.03 ± 1.12 kJ/kg0.75/h. Asimismo, el costo energético de pastoreo fue de 6.63 ± 1.12 kJ/kg 0.75/h. Se establece que las vacas pastoreando presentan un gasto energético 21% mayor que las vacas confinadas (Kaufmann et al., 2011).

El hecho de que los animales realicen la caminata no solo implica una menor producción de leche sino también una alteración en la composición y calidad de esta, aumentando el porcentaje de proteína en leche, debido a una disminución en la producción de proteína, y aumentos en la concentración de células somáticas consecuencia de inflamaciones traumáticas no infecciosas inducidas por la actividad (Capelesso, 2020).

Thomson y Barnes (1993) compararon la producción de vacas lecheras que caminaban 0,4 km/d para ser ordeñadas, que consideraron como testigo, con dos grupos experimentales, uno caminaba 4 km/d y el otro recorría 8 km/d. A pesar de la diferencia de actividad entre tratamientos, la producción de leche no fue afectada.

El bajo costo energético que presenta la actividad de caminata se debe a diversos factores, tan solo el 35% de la energía que utiliza el músculo proviene de movilización de grasa corporal, aumentando la eficiencia de utilización de la energía del alimento (Di Marco, 1998). En segundo lugar, el ejercicio físico modifica las fibras musculares, reemplazando un tipo de proteína por otro, logrando que la fibra muscular sea más eficiente, además, si bien la tasa metabólica aumenta con la actividad, después del ejercicio logra una disminución rápida del gasto energético, entonces el efecto proporcional es de poca incidencia en el gasto total que se calcula para un período de 24 horas (Thomson & Barnes, 1993).

Por otra parte, la actividad de caminata puede tener impacto en la función reproductiva, las vacas en un régimen de caminata requieren un menor número de servicios por concepción y presentan una mayor facilidad durante el parto, así como también una mayor eficiencia en el uso del alimento (Di Marco & Aello, 2003).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

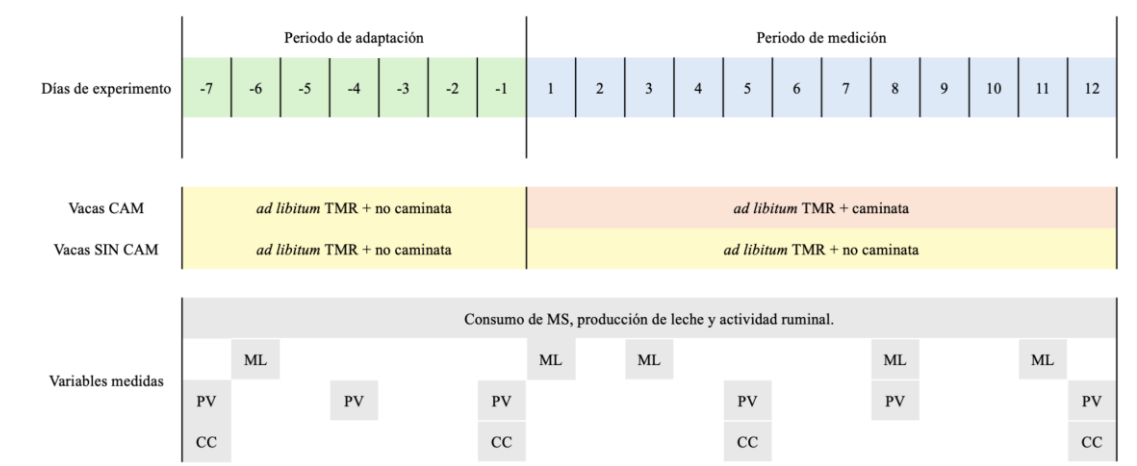
3.1 Características generales del experimento

Todos los procedimientos experimentales fueron aprobados por La Comisión Honoraria de Experimentación Animal de la Universidad de la República (expediente # 020300-000041-23).

3.1.1 Localización y Ubicación Temporal Del Experimento

El trabajo experimental se realizó en la EEMAC, Facultad de Agronomía, Udelar, situada en el departamento de Paysandú (Ruta 3, km 363). El experimento se realizó durante Julio – Agosto del 2024, con un protocolo experimental que duró 19 días, presentando una primera semana de adaptación y 12 días de medición.

Figura 2
Diagrama de los tratamientos y las variables medidas



Nota. ML = Muestras de leche; PV = Peso vivo; CC = Condición corporal; TMR = Ración totalmente mezclada.

3.1.2 Condiciones climáticas

Las condiciones de temperatura, precipitaciones y humedad relativa se registraron diariamente a través de una estación meteorológica localizada en la estación experimental (Davis Instruments, Hayward, CA, EE. UU.). Se registraron temperaturas medias de 14,3 ± 4,2°C y humedades relativas promedio de 78 ± 9%. La precipitación acumulada durante esos 19 días fue de 8 mm. Se asumieron condiciones de termoconfort para las vacas durante el experimento, ya que fue realizado durante la estación invernal y con valores del ITH máximos estuvieron en el rango de estrés térmico leve (Figura 3); durante el período de experimentación sólo un 19% de los mismos superó un valor de ITH mayor a 72 (Figura 4).

Figura 3
ITH diario para los meses de julio y agosto

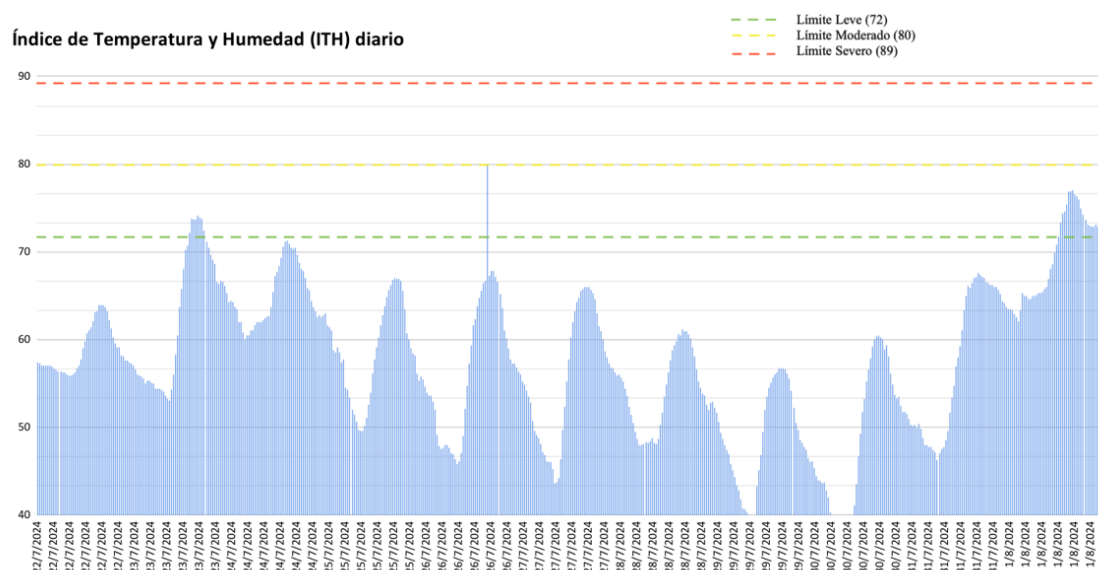
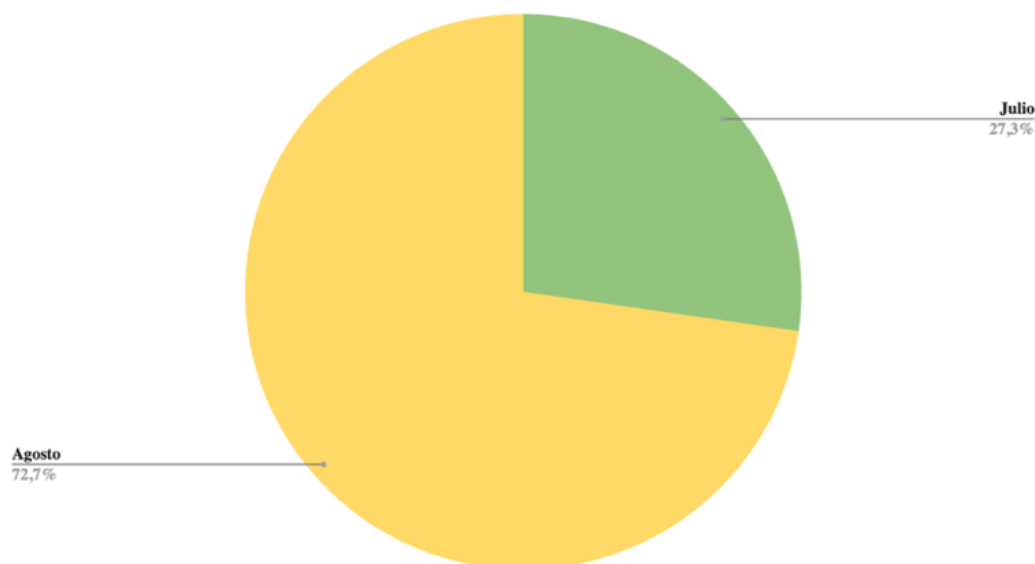


Figura 4
Porcentaje de días con valor del ITH mayor a 72

% de días con valor de ITH > 72



3.1.3 Animales, diseño experimental y tratamientos

Se seleccionaron 24 vacas Holando del rodeo experimental de la EEMAC, que estaban en $15,7 \pm 2,6$ semanas de lactancia, y que promediaron 634 ± 40 kg de PV y $2,77 \pm 0,06$ unidades de CC. Las vacas fueron alojadas en un galpón de cama cliente y agrupadas en 6 corrales en función del número de pariciones, producción de leche, PV y

CC y asignadas aleatoriamente a dos tratamientos: vacas que no caminaban (SIN-CAM; n=12) y vacas que caminaban 8 km/d (CAM; n=12). Las vacas del tratamiento CAM se sometieron a una caminata de 8 km diarios, distribuidos en 4 km matutinos (luego del ordeño de la mañana que comenzaba a las 6:00 am) y 4 km vespertinos (previos al ordeño de la tarde realizado a las 4:00 pm) a una velocidad promedio de la caminata de $3,1 \pm 0,2$ km/h. Las vacas del tratamiento SIN-CAM no realizaban la caminata y, mientras las vacas del tratamiento CAM caminaban, quedaban encerradas en los corrales sin acceso a agua ni comida de modo que el tiempo de ayuno no se confunda con la caminata en el análisis de las variables determinadas. Las vacas de los dos tratamientos fueron alimentadas con una TMR, compuesta por 48,2% de reservas forrajeras y 51,8% de concentrado (Tabla 1) suministrada en comederos de hormigón, luego de la caminata matutina con régimen de consumo *ad libitum* y con disponibilidad de agua.

Se midió la producción de leche individual y se tomaron muestras de leche los días - 6 del período de adaptación y los días 1, 3, 8 y 11 de medición, tanto en el ordeño de la mañana como en el de la tarde para el análisis de composición de leche (concentraciones de grasa, proteína, lactosa y recuento de células somáticas) mediante espectrofotometría de infrarrojo medio (Milko-Scan, Foss Electric, Hillerød, Dinamarca). El PV y la CC (escala 1 a 5; Edmonson et al., 1989). de las vacas se registró los días -7, -4 y -1 de adaptación y los días 5, 8 y 12 de medición.

El CMS fue calculado diariamente a partir de la diferencia de peso entre la TMR ofrecida y rechazada. Se colectaron muestras de la TMR ofrecida y rechazada diariamente, se secaron en estufa a 60°C por 48 horas para su posterior composición por corral y análisis de composición química según la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (Latimer, 2012) (Tabla 1).

Tabla 1*Ingredientes y composición química de la TMR ofrecida durante el experimento*

Ítem	TMR
Ingrediente, %MS¹	
Ensilaje de Maíz	25
Ensilaje de Sorgo	9,7
Henolaje de Alfalfa y Dactylis	7,4
Heno de Moha	6,1
Maíz molido	24,4
Expeller de Soja	16,5
Grano de Cebada molido	7,8
Suplementos minerales y vitaminas	3,1
Composición química	
MS, %	41,5
PC, % MS	16,5
FDN, % MS	34,1
FDA, % MS	15,9
NFC, % MS	38,1
EE, % MS	3,6
Energía metabolizable (EM, Mj/kg MS) ²	10,4

Nota. ¹MS = Materia seca; PC = Proteína cruda; FDN = Fibra detergente neutro; FDA = Fibra detergente ácido; NFC = Carbohidratos no fibrosos; EE = Extracto etéreo. ²La EM fue estimada como la relación entre las concentraciones de energía neta de lactación (ENL) y la eficiencia de utilización de la EM para la producción de leche (kl = 0,62) de los alimentos incluidos en la TMR.

3.1.4 Cálculos y análisis estadístico

Se estimó la ER-leche y la ER-tejido a partir de ecuaciones reportadas por la National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM, 2021) utilizando la producción y composición de leche [Eq. 1] y los cambios de PV [Eq. 2], respectivamente. La energía retenida total (ER – total) se calculó como la suma de ER-leche y la ER-tejido.

$$\text{ER - leche (MJ/d)} = 38,9 * \text{grasa en leche (kg/d)} + 23 * \text{proteína en leche (kg/d)} + 16,5 * \text{lactosa en leche (kg/d)}. \text{ [Eq. 1]}$$

$$\text{ER - tejido (MJ/d)} = 26,4 * \text{Diferencia en PV (kg/d)}. \text{ [Eq. 2]}$$

La ECM fue calculada a partir de una ecuación propuesta por Reincke et al. (2018), que asume un 4% de grasa y 3.3% de proteína [Eq. 3].

$$\text{ECM (kg)} = \text{Leche kg} * (0,383 * \text{grasa \%} + 0,242 * \text{proteína \%} + 0,7832) / 3,1138$$

[Eq. 3]

El CEM se estimó a partir del CMS y la concentración de EM de la dieta y se calculó la eficiencia alimenticia bruta (producción de leche/CMS y producción de ECM/CMS) y ajustada por los cambios de PV, así como la eficiencia de uso de la EM consumida (ER-total/CEM).

Los resultados fueron analizados en un diseño en bloques completos al azar (DBCA), utilizando el paquete estadístico SAS (SAS® OnDemand for Academics; SAS Institute, Cary, NC, USA) con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}, \text{ con } \varepsilon_{ij} \text{ iid } \sim N(0; \sigma^2)$$

donde:

- Y_{ij} : registros de las distintas variables en estudio
- μ : media poblacional
- τ_i : efecto relativo al i ésimo tratamiento
- β_j : efecto de los bloques
- ε_{ij} : error experimental

Se consideró que las medias difieren cuando $P \leq 0,05$ y se identificaron tendencias cuando $0,05 < P < 0,10$.

4. RESULTADOS

La producción de leche y de ECM (kg/d), así como la composición de leche, en términos de grasa, proteína, lactosa, y el recuento de células somáticas, no fueron afectadas ($P \geq 0,20$) por la actividad de caminata (Tabla 2). Sin embargo, si bien el PV y la CC promedio no difirieron ($P \geq 0,24$), los cambios de PV y CC (ΔPV y ΔCC , respectivamente) fueron diferentes entre tratamientos ($P \leq 0,04$). Las vacas SIN-CAM ganaron PV y mantuvieron su CC (ΔCC promedio no diferente de 0) mientras que las vacas CAM mantuvieron su PV (ΔPV promedio no diferente de 0) y perdieron CC durante el periodo experimental.

Consistente con la respuesta productiva, la ER-leche (MJ/d) no difirió ($P = 0,90$) entre tratamientos, pero la ER-tejido (MJ/d) fue mayor ($P = 0,03$) para las vacas SIN-CAM que CAM (Tabla 3). Sin embargo, debido a la alta proporción de la ER-leche en la ER-total (90%), esta última fue similar ($P = 0,1$) para los dos tratamientos.

La actividad caminata no afectó el CMS (Tabla 3) ni la eficiencia alimenticia evaluada como las relaciones entre kg leche/kg MS consumida (leche/CMS) o cómo kg ECM /kg MS consumida ($P \geq 0,41$). Sin embargo, cuando la producción de leche fue corregida por los cambios de PV, la eficiencia alimenticia tendió a ser mayor ($P \leq 0,10$) para las vacas SIN-CAM que CAM.

Tabla 2*Respuesta productiva de vacas en tratamiento con caminata y sin caminata*

Ítem	Tratamiento		ES	P - valor
	SIN CAM	CAM		
Número de vacas	12	12		
Producción y composición de leche				
Leche, kg/d	31,34	31,16	2,08	0,73
Leche corregida por energía (ECM), kg/d	34,0	34,1	1,8	0,94
Grasa, %	4,44	4,52	0,25	0,33
Proteína, %	3,72	3,77	0,11	0,86
Lactosa, %	4,91	4,97	0,67	0,93
Grasa, kg/d	1,39	1,40	0,07	0,89
Proteína, kg/d	1,16	1,17	0,08	0,93
Lactosa, kg/d	1,54	1,55	0,08	0,89
Recuento de células somáticas (cel./ml)	78,91	68,9	19,73	0,20
Reservas corporales				
Peso vivo (PV), kg	643	625	40	0,24
Condición corporal (CC), unidades	2,77	2,76	0,06	0,91
Cambio PV (Δ PV), kg/d	0,67	- 0,24	0,29	0,04
Cambio CC (Δ CC), unidades	0,01	- 0,11	0,03	0,01

Nota. Tratamiento con caminata (CAM), tratamiento sin caminata (SIN CAM).

Tabla 3*Consumo, partición de la energía y eficiencia alimenticia de vacas con y sin caminata*

Ítem	Tratamiento			P - valor
	SIN CAM	CAM	ES	
Consumo materia seca (CMS), kg/d	25,1	25,4	1,3	0,88
<i>Partición de la energía</i>				
Consumo energía metabolizable (CEM), MJ/d	260,5	263,7	6,64	0,71
Energía retenida en leche, MJ/d	106	107	5,52	0,90
Energía retenida tejido (ER), MJ/d	18	-6,4	7,6	0,03
Energía retenida total, MJ/d	124	102	9,0	0,1
<i>Eficiencia alimenticia</i>				
kg leche producidos/ kg MS consumidos	1,25	1,23	0,02	0,41
kg ECM producidos/ kg MS consumidos	1,35	1,34	0,03	0,89
kg leche producidos ajustados por cambios de PV / kg MS consumidos	1,42	1,17	0,08	0,10
ER total/ consumo EM	0,48	0,39	0,03	0,07

Nota. Vacas con tratamiento de caminata (CAM) y sin caminata (SIN CAM). La ECM fue calculada a partir de una ecuación que contempla la cantidad de leche producida, así como también, el contenido de grasa y proteína; la misma se detalla a continuación: $\text{Leche kg} * (0.383 * \text{grasa \%} + 0.242 * \text{proteína \%} + 0.7832) / 3.1138$.

5. DISCUSIÓN

En nuestro conocimiento este es el primer experimento a nivel nacional y unos de los pocos a nivel internacional que cuantifica el costo energético de la actividad de caminata en vacas lecheras. Los resultados demostraron que la actividad de caminata en vacas lecheras en lactancia media, en el corto plazo, no se tradujo en una disminución en la producción ni composición de leche, pero si disminuyó la recuperación de reservas corporales, afectando negativamente la eficiencia en el uso de la energía consumida (ER-total / CEM).

En contraste con nuestros resultados, un trabajo previo de Coulon et al. (1998) reportó que vacas en lactancia media (más 170 días en leche) que caminaban distancias mayores que 6,4 km/d redujeron la producción de leche, pero incrementaron el contenido de grasa y proteína de la misma, particularmente este último y al inicio del tratamiento. A su vez, Coulon y Pradel (1997) constataron que la actividad de caminata incurrió en una caída en la producción de leche, al mismo tiempo que, el contenido de grasa se vio incrementado, sin afectar la proteína de la leche. Estos autores indicaron que la caminata ocasionó una disminución significativa en la producción de leche en los 2 ordeñes posteriores a la misma pero no persistió luego del primer día de caminata. Asimismo, en acuerdo con los resultados del presente trabajo, Thomson y Barnes (1993) reportaron que la producción de leche no fue afectada en vacas lecheras caminando 4 u 8 km/d vs. 0,4 km/día (considerado como testigo).

En el presente trabajo, el CMS no se diferenció entre tratamientos y dado que la dieta en ambos era la misma, el CEM también fue similar. Sin embargo, investigaciones previas indican una reducción en el CMS de forraje asociado a la actividad de caminata (Capelesso, 2020; Coulon et al., 1998). A diferencia de estos últimos trabajos, en el presente experimento se aseguró que tanto las vacas SIN-CAM como las CAM tuvieran igual tiempo de acceso a la TMR y se simuló el traslado a las parcelas de pastoreo sin el consumo de pasto, por lo que nuestros resultados representan el incremento en el requerimiento energético asociado a la actividad física de caminar y no a una disminución en el consumo de energía.

No obstante, a pesar de que la caminata no afectó la producción ni composición de leche ni el CMS, en contraste con las vacas SIN-CAM, las vacas CAM dejaron de depositar reservas corporales. Las vacas se encontraban en lactancia media y en un BEP al inicio del experimento, situación que se mantuvo para las vacas SIN-CAM, indicando que el gasto energético extra requerido para la actividad de caminata fue en detrimento a la ganancia de peso (ER-tejido), pero no de la producción de leche. En acuerdo con nuestros resultados, trabajos previos Coulon y Pradel (1997) donde las vacas se encontraban en igual etapa de lactancia, reportaron incrementos en la concentración de ácidos grasos no esterificados (NEFA) en plasma en las vacas que caminaban, indicando movilización de reservas corporales. Sin embargo, estos autores no se reportan cambios en el PV ni en la CC de las vacas que caminaban.

Si bien la eficiencia alimenticia, estimada como kg leche o kg ECM / kg MS consumidos, no fue afectada por la actividad de caminata, cuando es corregida por los cambios en PV (kg leche producidos ajustados por cambios de PV / kg MS consumidos) o cuando se expresa en términos energéticos (ER-leche + ER-tejido / CEM) tendió a ser aproximadamente 20% menor en las vacas CAM, reflejando el gasto energético de caminar. De hecho, descontando el CEM (260,5 y 263,7 MJ/d para SIN-CAM y CAM, respectivamente), la EM total retenida (ER total/ k_l , siendo $k_l=0,66$; NASEM, 2021; 188 vs. 154 MJ/d para SIN-CAM y CAM, respectivamente) y la EM destinada a metabolismo basal ($0,4186 \text{ PV}^{0,75}/0,66$; 53 MJ/d; NASEM, 2021), las vacas SIN-CAM y con CAM destinaron 20,1 y 49,7 MJ/d para actividad, respectivamente. Por lo tanto, la diferencia entre estos dos últimos valores representaría el costo energético de caminata, siendo de 29,5 MJ/d de EM o 19,5 MJ/d ENL, lo que indicaría que el costo por actividad de caminata fue de 3,7 kJ/kg PV por km.

Este requerimiento de energía estimado por actividad de caminar se encuentra muy por encima de los valores estimados para bovinos de carne utilizando la técnica de dilución del ^{14}C (0,38 kJ/kg/km; Di Marco & Aello, 2001), o de la tasa cardíaca – pulso de O_2 (0,53 kJ/kg/km; Aharoni et al., 2009; Brosh et al., 2006) en una topografía plana. Incluso el requerimiento de energía para caminar estimado en el presente trabajo fue 70% mayor que los estimados por Ribeiro et al. (1977) basados en experimentos en cámaras calóricas en las cuales los animales caminaban en cintas caminadoras. Sin embargo, el requerimiento para caminar reportado en este trabajo fue un 20% mayor que el reportado en este trabajo cuando los animales caminan en una topografía con una pendiente de 6% (4,69 kJ/ kg PV/km).

En este sentido, los sistemas de alimentación para rumiantes de Inglaterra: Alderman y Cottrill (1993) y Australia (Freer et al., 2009) proponen un coeficiente de 2,60 kJ/kg PV/km mientras que NASEM (2021) propone un coeficiente de 1,46 kJ/kg PV/km, valores que son del 30 a 60% inferiores que los estimados en el presente trabajo. Probablemente diferencias entre las metodologías o animales (bovinos de carne vs. leche) utilizados pueda explicar estas diferencias.

Más aún, utilizando este mismo experimento, pero la técnica de la tasa cardíaca-pulso de O_2 , Talmón Travers (2025) estimó que el costo de caminata era de 1.45 kJ/kg PV/km (con un rango de 0,98 – 1,92 kJ/kg PV/km), coeficiente que está en línea con lo sugerido por el NASEM (2021). En el presente trabajo, la estimación se realizó por diferencia, mediante cálculos matemáticos, por lo que está sujeta a la acumulación de errores a lo largo del proceso. Esto podría explicar la sobreestimación observada en el requerimiento de caminata por este trabajo cuando se compara con los reportes previos (Aharoni et al., 2009; Brosh et al., 2006; Ribeiro et al., 1977) o con los datos reportados en este mismo estudio utilizando las diferencias en tasas cardíacas o en la producción de calor residual entre tratamientos para su estimación (Talmón Travers, 2025).

6. CONCLUSIÓN

La realización de una caminata de 8 km diarios, en vacas lecheras en lactancia media, no afectó la producción o la composición de leche ni el CMS, pero, en acuerdo con el aumento del costo de mantenimiento que se debe a la actividad de caminar, disminuyó la ganancia de PV, reduciendo la eficiencia alimenticia corregida por cambios en las reservas corporales. Sin embargo, sería importante, realizar estudios adicionales en condiciones de pastoreo reales y durante períodos experimentales más prolongados, con mayor número de vacas en cada tratamiento (mayor n), que permitan evaluar el impacto de la caminata en diferentes etapas de lactancia, niveles de producción y condiciones de alimentación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aharoni, Y., Henkin, Z., Ezra, A., Dolev, A., Shabtay, A., Orlov, A., Yehuda, Y., & Brosh, A. (2009). Grazing behaviour and energy costs of activity: A comparison between two types of cattle. *Journal of Animal Science*, 87(8), 2719-2731. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1505>
- Alderman, G., & Cottrill, B. R. (Comps). (1993). *Energy and protein requirements of ruminants: An advisory manual*. CAB International.
- Baldwin, R. L. (1995). *Modeling ruminant digestion and metabolism*. Chapman & Hall.
- Barboza, N. (2022). Cadena láctea: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2022* (pp. 107-121). MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2022/analisis-sectorial-cadenas-productivas/cadena-lactea>
- 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. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74381-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74381-6)
- Bartaburu, D. (2007). Stress calórico: Un tema de bienestar animal... y productivo. *Revista Plan Agropecuario*, (121), 46-49.
- Blanco, M. del R. (1999). *El alimento y los procesos digestivos en el rumen*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/70-alimentos_rumen.pdf
- Brosh, A., Henkin, Z., Orlov, A., & Aharoni, Y. (2006). Diet composition and energy balance of cows grazing on Mediterranean woodland. *Livestock Science*. 102(1-2), 11-22. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301622605004070>
- Capelesso, A. (2020). *Alimentación de vacas lecheras en pastoreo: Factores que impactan en la eficiencia del uso de los alimentos* [Disertación doctoral, Universidad de la República; Universidade Federal de Santa María]. Redi. <https://redi.anii.org.uy/jspui/bitstream/20.500.12381/278/1/Tesis%20doctorado%20Capelesso%20UFSM.%20Febrero%202021.pdf>
- Chilibroste, P., & Fariña, S. R. (2019). Oportunidades y desafíos para el crecimiento de la producción de leche a pasto en Uruguay. *Revista INIA*, (57), 28-32.
- Coulon, J. B., & Pradel, P. (1997). Effect of roughage intake and milk yield and composition of Montbéliarde and Tarentaise dairy cows. *Annales de Zootechnie*, 46(2), 139-146. <https://hal.science/hal-00889683v1>

- Coulon, J. B., Pradel, P., Cochard, T., & Poutrel, B. (1998). Effect of extreme walking conditions for dairy cows on milk yield, chemical composition, and somatic cell count. *Journal of Dairy Science*, 81, 994-1003.
[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(98\)75660-7/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(98)75660-7/pdf)
- Di Candia, N. (Ed.). (2025). *Comercio de lácteos*. INALE.
<https://www.inale.org/wp-content/uploads/2025/01/Mercado-internacional.pdf>
- Di Marco, O. N. (1998). Gasto energético de los vacunos en pastoreo. *Oeste Ganadero*, 1(1), 22-24.
- Di Marco, O. N., & Aello, M. S. (1998). Energy cost of cattle walking on the level and on a gradient. *Journal of Range Management*, 51(1), 9-13.
<https://doi.org/10.2307/4003556>
- Di Marco, O. N., & Aello, M. S. (2001). Energy expenditure due to forage intake and walking of grazing cattle. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 53(1), 105-110. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352001000100017>
- Di Marco, O. N., & Aello, M. S. (2003). *Costo energético de la actividad de vacunos en pastoreo y su efecto en la producción*. Sitio Argentino de Producción Animal.
https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/01-costo_energetico_de_actividad_en_pastoreo_efecto.pdf
- Dillon, P. (2006). Achieving high dry-matter intake from pasture with grazing dairy cows. En A. Elgersma, J. Dijkstra, & S. Tamminga (Eds.), *Fresh herbage for dairy cattle* (pp. 1-26). Springer.
- ¿Dónde compite bien el sector primario lechero del Uruguay y dónde no? (s.f.). INALE. <https://www.inale.org/donde-compite-bien-el-sector-primario-lechero-del-uruguay-y-donde-no/>
- 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. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79081-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0)
- Freer, M., Dove, H., & Nolan, J. V. (Eds.). (2009). *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. CSIRO Publishing.
- Hazard, S. (2004). Alimentación de las vacas lecheras. *Boletín INIA*, (112), 52-60.
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/47342910-199f-403c-a7f5-eff1919ff111/content>
- Jasinsky, A. (2019). *Gasto energético de vacas Holando con y sin la inclusión de pastura en la dieta* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/29299>

- Johnson, H. D., Kibler, H. H., Ragsdale, A. C., Berry, I. L., & Shanklin, M. D. (1961). Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. *Journal of Dairy Science*, 44, 1191.
- Kaufmann, L. D., Münger, A., Rérat, M., Junghans, P., Görs, S., Metges, C. C., & Dohme-Meier, F. (2011). Energy expenditure of grazing cows and cows receiving grass indoors. *Journal of Dairy Science*, 94(4), 1989-2000.
[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(11\)00169-X/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(11)00169-X/fulltext)
- Krall Schroder, E. (2021). El uso del biotipo como alternativa productiva y económica en la lechería uruguaya: Una herramienta posible ante la crisis. *Revista Plan Agropecuario*, (180), 48-51.
https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/180_2771.pdf
- Latimer, G. W. (Ed.). (2012). *Official Methods of Analysis* (19th ed.). AOAC International.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal nutrition* (7th ed.). Prentice Hall.
- Mendoza-Martínez, G. D., Plata-Pérez, F. X., Espinosa-Cervantes, R., & Lara-Bueno, A. (2008). Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de energía en bovinos. *Universidad y Ciencia*, 24(1), 75-87.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792008000400009&script=sci_arttext
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (8th ed. rev.). The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/25806>
- Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. (2025, 13 de noviembre). *Situación de la Lechería Mundial durante el año 2024*. <https://www.ocla.org.ar/noticias/34762728>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2024). *Anuario estadístico agropecuario 2024*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/diea/anuario2024>
- Pedemonte, A., & Vázquez, P. (Eds.). (2022). *Sistemas de producción de leche de Uruguay*. INALE. https://www.inale.org/wp-content/uploads/2022/09/inale_sistemas-de-produccion-lechero.pdf
- Pérez García, L. R., & Salgado, S. (2020, 9 de junio). *Estrés calórico en ganado lechero: Sus componentes y sus efectos*. BM Editores.
<https://bmeditores.mx/ganaderia/estres-calorico-en-ganado-lechero-i-sus-componentes-y-sus-efectos/>
- Prieto-Manrique, E., Vargas-Sánchez, J. E., Angulo-Arizala, J., & Mahecha-Ledesma, L. (2017). Grasa y ácidos grasos en leche de vacas pastoreando, en cuatro sistemas de producción. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 19-42.
<https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/22816>

- Pulido, R. G., & Leaver, J. D. (2001). Quantifying the influence of sward height, concentrate level and initial milk yield on the milk production and grazing behaviour of continuously stocked dairy cows. *Grass and Forage Science*, 56(1), 57-67. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2494.2001.00246.x>
- Red Tecnológica de la Cadena Láctea. [@redlactea.uy]. (2025a, 25 de marzo). *Descubriendo la lechería uruguaya ¿Sabías que Uruguay, con solo el 5% de su territorio dedicado a la lechería, produce suficiente...* [Publicación de Instagram]. Instagram. <https://www.instagram.com/p/DHoyQVjyGAu/>
- Red Tecnológica de la Cadena Láctea. [@redlactea.uy]. (2025b, 7 de abril). *Descubriendo la Lechería Uruguaya Nuestro país se destaca en el mercado internacional, siendo el noveno exportador mundial de leche. Además...* [Publicación de Instagram]. Instagram. <https://www.instagram.com/p/DIKQ3JCSdZP/>
- Reincke, K., Saha, A., & Wyrzykowski, Ł. (2018). *The global dairy world 2017/2018: Results of the IFCN dairy report 2018*. IFCN Dairy Research Network. <https://ifcdairy.org/wp-content/uploads/2018/10/Dairy-Report-Article-2018.pdf>
- Ribeiro, J. M. de C. R., Brockway, J. M., & Webster, A. J. F. (1977). A note on the energy cost of walking in cattle. *Animal Production*, 25(1), 107-110. <https://doi.org/10.1017/S0003356100039118>
- Talmón Travers, D. E. (2025). *Mantenimiento: ¿El componente subvalorado de la eficiencia energética de vacas lecheras en pastoreo?* [Disertación doctoral]. Universidad de la República.
- Thomson, N. A., & Barnes, F. R. (1993). Effect of distance walked on dairy production and milk quality. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 53, 69-72. <https://www.nzsap.org/system/files/proceedings/1993/ab93017.pdf>