

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ESTIMACIONES DE ENERGÍA DE MANTENIMIENTO EN
VACAS DE CRÍA PURAS Y CRUZAS EN PASTOREO DE
CAMPO NATURAL**

por

María Magdalena RICCIARDI ETCHEVERRY

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
JUNIO 2020**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. (PhD) Virginia Beretta, Ing. Agr. (PhD) Ana Laura Astessiano, Ing. Agr. (PhD) Alberto Casal, Ing. Agr. (Msc) María Isabel Pravia y Ing. Agr. Diego Gimeno, el 2 de Julio del año 2020. Autora: Ing. Agr. María Magdalena Ricciardi Etcheverry, Directora Ing. Agr. DSc. Ana Carolina Espasandin, Co-directora Ing. Agr. PhD. Mariana Carriquiry.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a mis directoras de tesis Ana Carolina Espasandin y Mariana Carriquiry y a mi familia que me acompañó durante este proceso. Muchas gracias también al equipo de posgrado por su constante amabilidad.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. ENERGÍA	3
1.2. CONSUMO, PARTICIÓN DE LA ENERGÍA Y EL EFECTO GENÉTICO	6
1.3. HIPÓTESIS	12
1.4. OBJETIVOS GENERALES	12
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. <u>ESTIMACIONES DE ENERGÍA DE MANTENIMIENTO EN VACAS DE CRÍA PURAS Y CRUZAS EN PASTOREO DE CAMPO NATURAL</u> ..	13
3. <u>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES</u>	40
4. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	47
5. <u>ANEXOS</u>	54

RESUMEN

Los requerimientos energéticos para el mantenimiento de vacas de cría representan aproximadamente el 50% de los requerimientos totales del ciclo productivo de carne vacuna y al presente es escasa la información nacional. El objetivo de este trabajo fue estudiar el consumo y partición de la energía, estimar la energía requerida para mantenimiento y analizar el efecto del grupo genético comparando vacas de cría puras Aberdeen Angus y Hereford (AA y HH) y cruza F1 recíprocas (AH y HA). El diseño experimental fue en bloques completamente al azar, considerando lactación y gestación. La energía retenida total (tejidos corporales y leche o gestación) considerando los dos momentos fisiológicos no fue significativamente distinta entre los genotipos. Sin embargo, el consumo de energía metabolizable (CEM) de las vacas cruza fue menor que el de las puras, siendo $700,35 \pm 74,98$ y $835,44 \pm 65,37$ kJ/kgPV^{0,75}/d ($P=0,036$) respectivamente. La energía metabolizable requerida para el mantenimiento se estimó a partir de tres metodologías, balance energético (EM_M₁), ecuación de predicción desarrollada por NASEM (2016) (EM_M₂) y a partir de la función de regresión de la producción total de calor respecto al CEM (EM_M₃). La EM_M₁ de las vacas cruza fue estadísticamente menor en comparación a las puras, siendo $550,58 \pm 105,35$ y $676,07 \pm 99,93$ kJ/kgPV^{0,75}/d ($P=0,032$) respectivamente. No existió diferencia estadística entre la EM_M₂ de cruza y puras ($535,62 \pm 11,58$ y $525,87 \pm 9,25$ kJ/kgPV^{0,75}/d correspondientemente). La EM_M₃ entre genotipos tampoco fue estadísticamente distinta, pero a nivel de ensayo los requerimientos de vacas cruza fueron menores a los de las puras, 453 y 561 kJ/kgPV^{0,75}/d respectivamente. Consiguientemente, los menores requerimientos energéticos para el mantenimiento estimados (EM_M₁ y EM_M₃) son coherentes con los mejores resultados productivos registrados nacional e internacionalmente y reafirman la necesidad de seguir generando información sobre los sistemas de cría nacionales.

Palabras claves: cruzamientos, requerimientos, pasturas, eficiencia.

SUMMARY

Maintenance energy requirements estimations of pure and crossbred mature beef cows in extensive grazing systems.

The energy requirements for maintenance of beef cows represents approximately the 50% of the total requirements of the beef production cycle. However, there is little national information about it. The objective of this work was to study the energy consumption and its partition, estimate the energy requirements for maintenance and analyze the genetic effect of different beef cows' genotypes. We considered pure Aberdeen Angus and Hereford (AA and HH), and reciprocal F1 crossbreds (AH and HA) beef cows. The experimental design consisted in completely randomized blocks, considering lactation and pregnancy moments. In both moments, the total retained energy (in body tissues and milk or pregnancy), was not different between the genetic groups. However, the crossbred cows' consumption of metabolizable energy (MEC) was lower than purebreds, 700.35 ± 74.98 and 835.44 ± 65.37 kJ/kgPV^{0.75}/d (P-value= 0.036). The energy required for maintenance was estimated using three methodologies: an energy balance (EM_M₁), prediction equations generated by NASEM (2016) (EM_M₂) and regression curve of total heat production as a function of MEC (EM_M₃). Crossbred cows' EM_M₁ was statistically minor than purebred, 550.58 ± 105.35 and 676.07 ± 99.93 kJ/kgPV^{0.75}/d (P-value = 0.032) respectively. There was no statistical difference between the cross and purebred cows' EM_M₂ (535.62 ± 11.58 and 525.87 ± 9.25 kJ/kgPV^{0.75}/d correspondingly). Neither the EM_M₃ was statistically different between genotypes. However, in the experiment crossbred cows presented minor EM_M₃ requirements than purebred, 453 vs 561 kJ/kgPV^{0.75}/d. Therefore, the minor energy requirements for maintenance estimated (EM_M₁ and EM_M₃) are related to the superior crossbred productive results registered by national and international literature. These results reinforce the need to continue generating information regarding our national beef cow-calf systems.

Key words: crossbreeding, requirements, grasslands, efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería tanto ovina como vacuna han sido históricamente rubros de gran importancia a nivel nacional, ocupando 13,7 millones de hectáreas y manteniendo en esta superficie un total de 6.6 millones ovinos y 11.7 millones bovinos según el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP.DIEA, 2018 y 2011). Además, solamente la exportación de carne bovina representó el 18% de las exportaciones nacionales (segundo lugar después de la exportación de celulosa) según el Informe anual de comercio exterior (2018).

La cría vacuna nacional se caracteriza por la utilización de animales de razas puras (40% Hereford y 23% Aberdeen Angus; 3% Braford, 1% Brangus, 9% Cruzas Hereford, 8% Cruzas Angus, y el restante porcentaje compuesto por otras razas y cruzas) según la Encuesta Ganadera 2016 (MGAP. OPYPA, 2018). Se desarrolla principalmente por productores de tipo familiar y sobre campo natural, marcada por la estacionalidad de las pasturas y su dependencia del clima que condicionan la disponibilidad de alimento a lo largo del año (Carámbula, 2002). Los bajos resultados productivos y reproductivos obtenidos impactan sobre el resultado económico, comprometiendo la sostenibilidad de los sistemas (Carriquiry et al., 2012), considerando que desde el 2000 al 2011 se registró una disminución del 14% en el número de explotaciones familiares (Tommasino et al., 2014).

La cría vacuna permite la transformación de forraje en proteína animal, sin embargo, es un proceso ineficiente (Ferrell y Jenkins, 1985). Si se consideran los gastos energéticos totales necesarios para el ciclo productivo de carne vacuna, solamente la energía requerida para el mantenimiento de las vacas de cría representa aproximadamente el 50% de los mismos (Ferrell y Jenkins, 1982).

No obstante, cuando se incorpora tecnología de bajo costo y organización del sistema con énfasis en las relaciones planta-animal, se han producido importantes cambios en resultado físico económico y de sostenibilidad del sistema (Soca, 2013). A nivel nacional, la utilización de vacas de cría cruzas F1 recíprocas Aberdeen Angus y Hereford (AH y HA) ha

permitido obtener mayor porcentaje y peso al destete de los terneros en comparación con madres puras (AA y HH) (Pereyra et al. 2015, Espasandin et al. 2006; Espasandin et al. 2013). Casal et al. (2014) y Casal et al. (2016) sugieren que las vacas cruzas en comparación a las puras tienen mayor plasticidad para adaptarse a ambientes pobres, pudiendo en gran medida explicar su mayor eficiencia biológica de producción.

Resulta, por tanto, interesante intentar contribuir al estudio del consumo y partición de la energía, en particular los requerimientos de energía para mantenimiento de vacas de cría puras (AA y HH) y cruzas (AH y HA) utilizadas en nuestras condiciones pastoriles, debido a su relevancia en el proceso de cría y su influencia sobre la eficiencia productiva. Considerando además que las ecuaciones de predicción actualmente disponibles de esta variable (NASEM 2016 y CSIRO 2007), son generadas en condiciones ambientales y productivas distintas a las nacionales.

A continuación, se revisarán definiciones y conceptos respectivos al consumo y partición de la energía por parte de las vacas de cría y el efecto del grupo genético sobre los mismos.

1.1. ENERGÍA

De la energía consumida por un animal (energía bruta), la fracción que no se pierde en las heces (energía fecal), en la orina (energía urinaria) o en los gases eliminados (energía gaseosa), es llamada energía metabolizable (EM). La EM es utilizada para la deposición de tejidos corporales (energía tisular, ET), la producción de leche (EL) y para la gestación (EP) con distintas eficiencias (kg, kl, kc, respectivamente) (Church, 1993).

La EM abandona al animal en forma de calor (PTC) como consecuencia del incremento térmico de los alimentos (considerando los procesos de masticación, deglución, metabolismo de los nutrientes, entre otros) y de la utilización para los procesos metabólicos (con una eficiencia k_m), requeridos para el mantenimiento del animal (McDonald et al. 1995, Church 1993).

La energía neta (EN) es considerada como la energía metabolizable disponible para la utilización animal tanto para los requerimientos de mantenimiento como para la generación de producto. Por tanto, $EN = EM - \text{incremento térmico de los alimentos}$ (McDonald et al., 1995).

La energía neta para mantenimiento es la necesaria para mantener en situación de equilibrio energético a un individuo adulto no gestante ni lactante (Church 1993, Rovira 1996). Las funciones implicadas en el mantenimiento incluyen la regulación de la temperatura corporal, la actividad física voluntaria y el metabolismo basal (funciones de servicio y mantenimiento celular) (NRC, 2000). La energía utilizada para el metabolismo basal es igual a la producción de calor en ayuno y es proporcional al peso metabólico corporal ($PMC = PV^{0.75}$) (McDonald et al., 1995).

A nivel internacional existen estimaciones de requerimientos energéticos para los vacunos para carne, como las generadas por NASEM (2016) y CSIRO (2007) que se consideran necesarias para poder completar procesos metabólicos (mantenimiento, crecimiento y deposición de tejidos, producción de leche, entre otras). Estas estimaciones fueron generadas en condiciones ambientales diferentes a las presentes a nivel nacional.

Brosh et al. (1998) desarrollaron un método de estimación de la producción total de calor (PTC) a partir de registros de consumo de oxígeno y tasa cardíaca de hembras Hereford expuestas a diversas situaciones pastoriles (nutricionales y climáticas). El mismo se basa en la medición del pulso de oxígeno (relación del consumo de oxígeno y la tasa cardíaca) en un período corto de tiempo. La PTC se estima multiplicando el pulso de oxígeno por la tasa cardíaca medida durante todo el día, asumiendo 20,47 kJ/l de O₂ consumido (Brosh et al., 2004). Los autores identificaron que, para un rango amplio de valores de tasa cardíaca, el pulso de oxígeno se mantenía relativamente constante. En base a esto, sugieren la estimación de la PTC a partir de los registros diarios de tasa cardíaca multiplicados por el pulso de oxígeno medido en un corto periodo de tiempo.

A partir de los registros de la PTC y el consumo de energía metabolizable (CEM) es posible estimar la producción de calor en ayuno (Brosh, 2007). Esta corresponde a la energía necesaria para el metabolismo basal proveniente de la energía retenida como reservas corporales y abandona el animal en forma de calor (McDonald et al., 1995). Además, cuando la retención de energía es 0, el consumo de energía metabolizable (CEM) es el necesario para cubrir los requerimientos de mantenimiento del animal (McDonad et al., 1995).

Existe una relación lineal entre la producción total de calor y el consumo de energía metabolizable, en donde $PTC = (b \times CEM) + C$, siendo "C" el intercepto (correspondiente a la PTC en ayuno) y "b" la pendiente de regresión (biológicamente es el incremento calórico). Se puede calcular la eficiencia con que se retiene la energía que es $1-b$ y la energía metabolizable necesaria para el mantenimiento que es igual al CEM cuando $CEM = PTC$ calculado como $\frac{C}{1-b}$. (Brosh, 2007).

Con esta metodología Brosh et al. (2006) y Brosh et al. (2010) pudieron registrar que las actividades de pastoreo, caminata y mantenerse parado por parte de vacas de cría para carne de varios genotipos distintos representó entre 5 y 12 % de su producción total de calor. Estos registros fueron realizados considerando varias estaciones del año (diferentes características del forraje y estado fisiológico de las vacas), distintas cargas animales, tamaño de parcelas y tipo de pastoreo.

A nivel nacional, Jasinsky (2019), estudió dos estrategias de alimentación ofrecidas a vacas Holando primíparas y multíparas y estimó la producción total de calor mediante la técnica desarrollada por Brosh (2007). La dieta control estaba compuesta solamente por una ración mixta total y la segunda combinaba pastoreo y ración. La inclusión del pastoreo se asoció a un aumento de alrededor del 10% de los requerimientos de energía para el mantenimiento probablemente asociado a costos de actividad, digestión y/o metabolismo.

En NASEM (2016) se presenta una ecuación de predicción de los requerimientos energéticos asociados a la actividad de pastoreo de vacas para carne. Sin embargo, esta ecuación no es recomendada por los autores cuando las vacas en estudio ya están adaptadas al ambiente pastoril porque sobreestima la energía requerida y evidencian la necesidad de seguir trabajando en esta temática para poder generar ecuaciones de predicción más precisas asociadas a la actividad muscular en condiciones pastoriles.

1.2. CONSUMO, PARTICIÓN DE LA ENERGÍA Y EL EFECTO GENÉTICO

En Uruguay la producción animal (vacuna y ovina) se desarrolla básicamente sobre campo natural, compuesto principalmente por gramíneas estivales (C4) siendo escasas las especies C3 y leguminosas; esto explica la mayor producción durante primavera y verano según la revisión realizada por Berretta (1996).

El consumo de forraje puede ser definido como el producto del tamaño de bocado, la tasa de bocado y el tiempo diario destinado al pastoreo. El tamaño de bocado tiene la mayor influencia en el consumo, siendo la tasa de bocado y el tiempo de pastoreo variables compensatorias (Forbes, 1988). La ingesta está regulada por la composición química y digestibilidad del forraje (o ritmo de digestión) y de su estructura física y distribución en el espacio. Los animales suelen preferir las hojas que son de digestión rápida en vez de los tallos que son de digestión lenta. Así también material verde frente al muerto (McDonald et al., 1995).

Todavía existen interrogantes sobre los factores que regulan el consumo en rumiantes y es por ello por lo que los modelos de predicción de consumo son empíricos y no existe una ecuación que se pueda aplicar genéricamente a todos los sistemas productivos (NRC, 2000).

La ecuación de predicción de consumo para condiciones pastoriles desarrollado por CSIRO (2007) resulta del producto de (1) el consumo potencial del animal y (2) el consumo relativo ofrecido por la pastura. El consumo potencial depende del tamaño maduro del animal (Standard Reference Weight, SRW), de su tamaño actual con relación al SRW, estado fisiológico (para vacas de cría multíparas gestación y lactación) y correspondiente demanda de energía. El consumo relativo representa la proporción del consumo potencial que un animal puede realizar en función al forraje ofrecido. Es función de la calidad (composición química de la dieta seleccionada), disponibilidad y estructura física del forraje disponible. El

modelo incluye ecuaciones para simular el consumo, considerando la selección del alimento, que explican los autores está caracterizado por estaciones de alimentación dentro de la pastura, principalmente diferenciadas por calidad del forraje. Además, el modelo considera correcciones por factores climáticos (temperaturas extremas) y por contenidos de proteína y minerales.

La ecuación de predicción de consumo desarrollada por NASEM (2016) está compuesta por (1) estimación de consumo de materia seca y (2) factor de corrección por forraje disponible. La ecuación de consumo de materia seca es distinta según los días de gestación en el que se encuentre la vaca y está relacionada con el peso vivo reducido (sin considerar la última comida) y la concentración de energía neta de la dieta disponible.

La medición del consumo de materia seca por parte del ganado en condiciones pastoriles es fundamental para entender el pastoreo y consecuentemente poder mejorar el manejo de las pasturas y optimizar este tipo de sistema productivo (Undi et al., 2008). Estos autores estudiaron 4 técnicas de estimación de consumo de materia seca; la técnica de estimación a partir del forraje desaparecido ('t Mannetje 1978), cápsulas de liberación controlada de n-alcanos y ecuaciones de predicción de consumo desarrolladas por distintas entidades. Trabajaron por 3 años con 430 novillos cruza raza Británica y Continental de tamaño corporal relativamente uniforme, peso promedio 326 +/- 35 kg en condiciones de pastoreo continuo. Los autores concluyeron que las ecuaciones de predicción pueden ser útiles para estimar el consumo rápidamente y, por otra parte, la técnica de N-alcanos resulta una opción preferible cuando se trabaja con pasturas de condiciones heterogéneas.

Reis et al. (2015), estudiaron el consumo de forraje de 20 vacas Aberdeen Angus multíparas (525 ± 55 kg PV) post destete de ternero. Estas 20 vacas habían sido agrupadas en grupos de 5 individuos de acuerdo con el consumo registrado durante la lactación en condiciones de estabulación con una dieta a base de heno. El consumo en pastoreo se midió mediante la técnica de n-alcanos (alcano C32 y C36) y utilizando la ecuación desarrollada

por Mayes et al. (1986). Se ofreció 2,5 kg MS/100 kg PV/día y no encontraron diferencias entre los consumos de los correspondientes grupos, siendo el registrado en general $8,82 \text{ kg} \pm 1,5 \text{ kg}$ de MS/ d/ vaca. Por otra parte, los autores si registraron diferencias en la selección de la dieta entre individuos, considerando especies de plantas distintas, partes anatómicas hojas/tallos y relación verde/seco.

Do Carmo et al. (2018) trabajando con vacas de cría multíparas puras (AA y HH) y cruza recíprocas F1 (AH y HA) en dos ofertas de forraje en campo natural (alta - 4,9 y baja - $2,9 \pm 0,14 \text{ kg}$ de MS/kg PV), estimaron el consumo mediante ecuaciones de predicción de NRC (2000) y no observaron diferencias en el consumo estimado por kg de peso vivo entre los dos grupos genéticos. Sin embargo, el peso vivo y la condición corporal (CC) de las vacas cruza fue superior ($P \leq 0,05$) al de las puras con $4,2 \text{ vs } 4 \pm 0,05$ unidades y $458 \text{ vs } 427 \pm 13 \text{ kg}$, respectivamente. Además, el peso vivo de los terneros hijos de madres cruza al destete (119,8 y 134 kg) también fue mayor ($P \leq 0,05$) que los hijos de puras (101,5 y 123 kg) en dos ciclos productivos consecutivos.

Los cruzamientos (por definición, el apareamiento de individuos de diferentes poblaciones, razas o líneas) permiten explotar las diferencias raciales (aditivas), la complementariedad entre las razas y la heterosis o vigor híbrido que es la superioridad de los individuos cruza en relación con el promedio de contemporáneos de las razas parentales (Lema et al. 2015).

Lema et al. (2011) estudiaron el peso al destete y variables de performance previas al destete de 4474 terneros puros y cruza (F1, cruza recíprocas entre otras combinaciones) considerando las razas Hereford, Angus, Salers y Nellore (39 genotipos distintos en total). Estudiaron los resultados productivos y estimaron los efectos individuales y maternos aditivos (diferencias entre razas) y no aditivos (dominancia y epítasis). Concluyeron que el uso de cruzamientos mejoró el peso al destete, especialmente cuando los terneros eran criados por madres cruza.

Oxford et al. (2009) trabajaron con 1631 registros de pares de vaca-ternero puros Angus, Hereford, Red Poll, Santa Gertrudis y cruza recíprocas

y encontraron significativo los efectos de heterosis cuando los cruzamientos involucraban las razas Angus x Hereford sobre las variables de peso al nacer, peso al destete y ganancia diaria promedio previo al destete ($P < 0.01$).

Morris et al. (1987), evaluaron el efecto genético maternal de madres puras raza Aberdeen Angus, Hereford y cruza recíprocas durante 3 años y estimaron una heterosis de 26,3% en la eficiencia productiva (kg ternero destetado/vaca entorada/año).

En Nebraska (USA) se evaluaron razas británicas y continentales puras frente a diferentes asignaciones de alimento (16 a 19 u 8 kg de MS/vaca/día, alta y baja respectivamente). Las tendencias observadas demuestran que existe variación en la eficiencia de producción entre y dentro un mismo genotipo cuando son sometidos a ambientes diferentes. Ante ofertas de alimento restringidas, muestran superioridad los genotipos que necesitan menos energía para cumplir con su mantenimiento, crecimiento, actividad, etc. y destinar cierta proporción hacia funciones reproductivas. Bajo esta situación, los animales de mayores tamaños adultos presentan mayores dificultades y muchas veces no son capaces de cumplir con todas las funciones biológicas de la cría, no logrando el retorno de la ciclicidad post parto mientras amamantan un ternero (Jenkins y Ferrell, 1994).

Pereyra et al. (2015) en Uruguay realizaron un estudio bajo diseño dialéctico (vacas y toros Hereford (HH) y Aberdeen Angus (AA) puros y cruza recíprocas) a campo natural e identificaron que el porcentaje de destete fue mayor en madres cruza que en puras (85 y 60,3% respectivamente y $P \leq 0,05$). A su vez las madres cruza destetaron terneros más pesados ($P \leq 0,05$) que las madres puras (159,1 kg promedio) y 143,3 y 151,6 kg HH y AA respectivamente). Según los autores, estas diferencias evidencian el beneficio de la heterosis maternal expresada como mayor producción de leche y mejor vínculo madre-hijo y de la heterosis individual de los terneros.

Espasandin et al. (2006), compararon vacas puras Aberdeen Angus (AA) y Hereford (HH) con vacas cruza recíprocas (AH y HA) sobre la variable kg de ternero destetados por vaca entorada por año. Los terneros hijos de madre

cruza eran en promedio 28 kilos más pesados ($P \leq 0,05$), y la variable expresó una heterosis total (maternal e individual) del 14%. A su vez las vacas cruzas primíparas presentaron porcentajes de parición superiores ($P \leq 0,05$) que las vacas puras, siendo una tendencia en el caso de vacas multíparas.

Comparando los mismos genotipos, pero en dos ofertas de forraje distintas (alta y baja), Espasandin et al. (2013) identificaron que los terneros hijos de madres cruzas presentaron pesos al destete superiores ($P \leq 0,05$) que los hijos de puras pastoreando alta oferta los dos grupos. En baja oferta no se encontraron diferencias significativas entre los pesos al destete de los dos grupos genéticos y el peso de los terneros hijos de crusa fue numéricamente similar al peso de los terneros hijos de puras pastoreando en alta oferta, considerado por los autores una evidencia de la plasticidad ante variaciones ambientales por parte de los animales crusa.

Casal et al. (2014) y Casal et al. (2016), sugieren una mayor capacidad para adaptarse a situaciones de estrés nutricional por parte de las vacas cruzas (AH y HA) en comparación a las puras (AA y HH). Esto se basa en que el peso relativo del complejo del estómago y omaso en vacas cruzas fue menor ($P=0,1$) y a su vez en condiciones de baja oferta de forraje estas diferencias fueron más evidentes.

Considerando el gasto energético para mantenimiento, éste varía según la edad, peso corporal, genotipo, sexo, condiciones fisiológicas, nivel productivo, estación del año y temperatura, proporción de tejidos u órganos corporales y proporción de proteína y grasa en el organismo (NRC, 2000). Por otro lado, hay evidencias de que éste presenta mayor variabilidad que los requerimientos para crecimiento, gestación y lactación (Ferrell y Jenkins, 1985).

Montaño-Bermudez et al. (1990) observaron que diferencias en la producción de leche en vacas del mismo genotipo explican hasta un 23% de la variación en la energía necesaria para el mantenimiento. Posteriormente Bailey et al. (1996) observan diferencias en requerimientos energéticos para mantenimiento de 29% en vacas de un mismo genotipo.

Coincidentemente, Hotovy et al. (1991) estiman variabilidades genéticas medias a altas para requerimientos de mantenimiento y heredabilidad de 0,50, sugiriendo la pertinencia de la selección por mayores eficiencias productivas en los rodeos de cría.

La experimentación nacional, así como trabajos de otros países demuestran la significancia de efectos genéticos sobre la respuesta productiva y se sugiere que esta superioridad de las vacas cruzas puede ser explicada por una mayor capacidad adaptativa a las restricciones alimenticias. El mejor entendimiento de los procesos biológicos involucrados en estas respuestas permite generar más información que contribuya al incremento de la competitividad de la ganadería vacuna. Por tanto, resulta pertinente seguir ahondando en el conocimiento del consumo y partición de la energía en condiciones pastoriles y el efecto del grupo genético.

1.3. HIPÓTESIS

La energía requerida para el mantenimiento se encuentra afectada por el genotipo, siendo menor en las vacas cruzas en comparación a las vacas puras. Esto se relaciona con mayor energía retenida y consumos de energía metabolizable similares en función del peso vivo metabólico.

1.4. OBJETIVOS GENERALES

Estimar la energía de mantenimiento de vacas de diferentes grupos genéticos pastoreando en campo natural.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudiar el efecto genotipo sobre el consumo de materia seca y de energía metabolizable.

Estudiar el efecto genotipo sobre la energía retenida en tejidos corporales, gestación y lactación.

Estimar el gasto de energía para mantenimiento y estudiar el efecto del genotipo sobre el mismo.

El próximo capítulo consiste en un artículo científico que aborda estos objetivos. El artículo se titula “Estimación de la energía requerida para el mantenimiento de vacas de cría puras y cruzas pastoreando en campo natural” escrito según las instrucciones de la revista “Agrociencia Uruguay”. En el tercer capítulo de esta tesis se presenta una discusión y conclusiones generales.

2. ESTIMACIONES DE ENERGÍA DE MANTENIMIENTO EN VACAS DE CRÍA PURAS Y CRUZAS EN PASTOREO DE CAMPO NATURAL

Estimaciones de energía de mantenimiento en vacas de cría puras y cruzas en pastoreo de campo natural

Ricciardi MM¹, Carriquiry M, Espasandin AC

Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay

¹: Avenida Garzón 780. 12900 Montevideo, Uruguay. magdalenaricciardi@gmail.com

Resumen

Estimaciones de energía de mantenimiento en vacas de cría puras y cruzas en pastoreo de campo natural. El objetivo de este trabajo fue estudiar el consumo y partición de la energía, estimar la energía requerida para mantenimiento y analizar el efecto del grupo genético comparando vacas de cría puras Aberdeen Angus y Hereford (AA y HH) y cruzas F1 recíprocas (AH y HA). El diseño experimental fue en bloques completamente al azar, considerando lactación y gestación. La energía retenida total (tejidos corporales y leche o gestación) considerando los dos momentos fisiológicos, no fue estadísticamente distinta entre genotipos. Sin embargo, el consumo de energía metabolizable (CEM) de las vacas cruzas fue menor que el de las puras, $700,35 \pm 74,98$ y $835,44 \pm 65,37$ kJ/kg PV^{0,75}/d ($P=0,036$) respectivamente. La energía metabolizable requerida para mantenimiento se estimó a partir de tres metodologías, balance energético (EM_M₁), ecuación de predicción según NASEM (2016) (EM_M₂) y a partir de la función de regresión de la producción total de calor respecto al CEM (EM_M₃). La EM_M₁ fue estadísticamente menor para las vacas cruzas en comparación a las puras, siendo $550,58 \pm 105,35$ y $676,07 \pm 99,93$ kJ/kgPV^{0,75}/d ($P=0,032$) correspondientemente. No existieron diferencias estadísticas entre la EM_M₂ de vacas cruzas y puras ($535,62 \pm 11,58$ y $525,87 \pm 9,25$ kJ/kgPV^{0,75}/d). Tampoco la EM_M₃ fue estadísticamente afectada por el genotipo, pero a nivel de ensayo los requerimientos de vacas

cruzas fueron menores en comparación a puras, 453 y 561 kJ/kgPV^{0,75}/d, respectivamente. Estos resultados (EM_M₁ y EM_M₃) son coherentes con los mejores registros productivos de las vacas de cría cruzas a nivel nacional e internacional y reafirman la necesidad de continuar estudiando los sistemas de cría de nuestro país.

Palabras clave: cruzamientos, requerimientos, pasturas, eficiencia

Summary

Maintenance energy requirements estimations of pure and crossbred mature beef cows in extensive grazing systems. The objective of this work was to study the energy consumption and its partition, estimate the energy required for maintenance and analyze the genetic effect of different beef cows' genotypes. We considered pure Aberdeen Angus and Hereford (AA and HH), and reciprocal F1 crossbreds (AH and HA) beef cows. The experimental design consisted in completely randomized blocks, considering lactation and pregnancy moments. In both periods, the total retained energy (in body tissues and milk or pregnancy), was not different between the genetic groups. However, the crossbred cows' consumption of metabolizable energy (MEC) was lower than purebreds, 700.35±74.98 and 835.44 ±65.37 kJ/kgPV^{0,75}/d (P-value= 0.036) respectively. The energy required for maintenance was estimated using three methodologies: an energy balance (EM_M₁), prediction equations generated by NASEM (2016) (EM_M₂) and regression curve of total heat production as a function of MEC (EM_M₃). Crossbred's EM_M₁ was statistically minor than purebred, 550.58 ± 105.35 and 676.07±99.93 kJ/kgPV^{0.75}/d (P-value=0.032) correspondingly. There was no statistical difference between the cross and purebred cows' EM_M₂ (535.62±11.58 and 525.87±9.25 kJ/kgPV^{0.75}/d). Neither the EM_M₃ was statistically different between genotypes. However, in the experiment crossbred cows presented minor EM_M₃ requirements than purebred cows, 453 vs 561 kJ/kgPV^{0.75}/d, respectively. Therefore, the minor energy requirements for maintenance estimated (EM_M₁ and EM_M₃) are related to the superior crossbred productive results registered by national and international literature. These results reinforce the need to continue generating information regarding our national beef cow-calf systems.

Key words: crossbreeding, requirements, grasslands, efficiency

Introducción

La cría vacuna permite la transformación de forraje en proteína animal, sin embargo, es un proceso ineficiente ⁽¹⁾. Si se consideran los gastos energéticos totales necesarios para el ciclo productivo de carne vacuna, solamente la energía requerida para el mantenimiento de las vacas de cría representa aproximadamente el 50% de los mismos ⁽²⁾. No obstante, cuando se incorpora tecnología de bajo costo y organización del sistema con énfasis en las relaciones planta-animal, se han producido importantes cambios en resultado físico económico y de sostenibilidad del sistema ⁽³⁾.

A nivel nacional e internacional trabajando con vacas puras Aberdeen Angus (AA) y Hereford (HH) y cruza recíprocas (AH y HA), se ha registrado heterosis de 14 hasta 26% en la eficiencia productiva (kg ternero/vaca entorada/año) constando mayores porcentajes de destete (85 vs 60,3% $P \leq 0,05$) y pesos al destete superiores alcanzando una diferencia de hasta 28 kg ^(4,5,6). Por otra parte, comparando los mismos genotipos, pero en dos ofertas de forraje distintas (alta y baja), Do Carmo et al. ⁽⁷⁾, no registraron diferencias en el consumo de energía estimado según NRC ⁽⁸⁾ por kg de peso vivo por día entre las puras y cruza. Sin embargo, las cruza presentaron mayores pesos vivos y condición corporal ($P \leq 0,05$). Además, las madres cruza destetaron terneros con pesos superiores ($P \leq 0,05$) tanto en alta como en baja oferta ⁽⁹⁾. Inclusive, los pesos al destete de terneros hijos de vacas cruza pastoreando en baja fueron similares a los pesos de destete de terneros hijos de vacas puras pastoreando en alta, considerado por los autores una evidencia de la plasticidad ante variaciones ambientales por parte de los animales cruza ⁽⁹⁾.

Posteriormente investigadores nacionales ^(10, 11), trabajando también con dos ofertas de forraje (alta y baja) registran que el peso relativo del complejo del estómago y omaso en vacas cruza fue menor ($P=0,1$) y a su vez en condiciones de baja oferta de forraje estas diferencias fueron más evidentes, sugiriendo que las vacas cruza en comparación a las puras tienen mayor plasticidad para adaptarse a ambientes pobres.

En base a esta información, se generó la hipótesis de que las vacas cruza presentan menores requerimientos para el mantenimiento a nivel poblacional explicado por mayor energía retenida por kg de peso vivo metabólico ($\text{kJ/kg PV}^{0,75}$) y consumos energéticos similares (kJ/kg

PV^{0,75}). Consecuentemente nos planteamos el objetivo de estimar la energía de mantenimiento de vacas puras (AA y HH) y cruzas (AH y HA) pastoreando en campo natural y estudiar la significancia del efecto genotipo sobre la misma, considerando que las ecuaciones actualmente utilizadas para su estimación como NASEM ⁽¹²⁾ y CSIRO ⁽¹³⁾ son generadas en condiciones ambientales y productivas distintas a las nuestras. Además, nos planteamos estudiar el efecto del genotipo en el consumo de materia seca y energía metabolizable y también en la energía retenida (en tejidos corporales y en leche o para la gestación). De esta forma, se intentó contribuir al estudio de la partición de la energía, especialmente al conocimiento de la energía necesaria para el mantenimiento de los genotipos más utilizados a nivel nacional para la cría vacuna en condiciones pastoriles.

Materiales y métodos

Localización, animales y diseño experimental

Este trabajo se encuadra en el proyecto “Estimaciones de energía de mantenimiento en vacas de cría puras y cruzas en pastoreo de campo natural” (ANII-FMV 2563).

El trabajo se desarrolló en la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt (EEBR), ubicada en el km 408 de Ruta N°26, 32°35' Latitud Sur y 54°15' Longitud Oeste, departamento de Cerro Largo, Uruguay en el período 2011 – 2013.

Fue realizado en una superficie total de 120 has de campo natural, divididas en 8 parcelas experimentales, ubicadas sobre las unidades de suelo Zapallar y Fraile Muerto. Se utilizaron 120 vacas de cría adultas, siendo 24 vacas las experimentales y el resto eran volantes para ajustar la oferta de forraje provenientes del rodeo de la EEBR. El grupo de vacas experimentales en cada bloque estaba compuesto por 4 puras Aberdeen Angus (AA), 4 puras Hereford (HH) – conformando el grupo genético Vacas PURAS- y 4 cruzas F1 recíprocas AH y HA- conformando el grupo genético Vacas CRUZAS. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, siendo Bloque 1: suelos arenosos de unidad Zapallar y Bloque 2: suelos arcillosos de la unidad de Fraile Muerto. La unidad experimental fue cada vaca.

El presente trabajo considera las mediciones y estimaciones realizadas en 2 momentos contrastantes del ciclo de cría: lactancia (primavera-verano 2011) y gestación (otoño-invierno 2012). Las vacas se encontraban pastoreando dos ofertas de forraje. En lactación (primavera-verano) se ofreció en promedio de 3,3 y 1,6 kg MS/kg PV para alta y baja oferta respectivamente. En gestación (otoño-invierno) el forraje ofertado promedio fue 3,6 y 2,7 kg MS/kg PV correspondientemente para alta y baja. El forraje disponible en lactación fue en promedio 1040 y 803 kg MS/ha en alta y baja oferta y en gestación 2150 y 1575 kg MS/ha respectivamente. El manejo del pastoreo fue continuo ajustando la oferta mediante animales volantes de la misma edad y condición fisiológica, en parcelas de 20 ha para tratamientos de alta oferta de forraje y de 10 ha en baja oferta. El ajuste de carga para cada período se realizaba considerando la cantidad de forraje disponible y la tasa de crecimiento del forraje estimada. La cantidad de forraje disponible (kg MS/ha) fue estimada por el método comparativo desarrollado por Haydock and Shaw ⁽¹⁴⁾, utilizando de referencia un cuadrante de 0,25 m². El crecimiento de la pastura por día (kg MS/ha/día) fue estimado usando jaulas portables, calculado como la diferencia en MS por unidad de área por día entre dos registros consecuentes en el tiempo ⁽¹⁵⁾. En la Tabla N°1 se presentan los resultados de los análisis del campo natural ofrecido en lactación (primavera 2011) y en gestación (otoño-invierno 2012) respectivamente realizado por el Laboratorio de Nutrición animal y Evaluación de alimentos (Uruguay). La digestibilidad fue estimada según el método de Van Soest (Anexo N°1).

Tabla N° 1: Análisis químico del campo natural en lactancia (primavera) y gestación (otoño-invierno): cenizas (C), proteína cruda (PC), fibra detergente ácido corregida por cenizas (FDAmo), extracto etéreo (EE) y digestibilidad (Dig). Los resultados están expresados en base seca.

Momento	Oferta	C%	PC%	FDAmo%	EE%	Dig %
Lactancia	Alta	15,95	9,61	27,91	1,49	62,5
	Baja	17,54	10,76	24,47	1,64	65,2
Gestación	Alta	28,6	7,5	24,55	1,18	66,4
	Baja	31,58	8,92	21,07	1,09	67,6

Las vacas consideradas en este trabajo se repitieron casi completamente en los dos momentos fisiológicos. Se midió el peso vivo (PV) de vacas y terneros al nacer (balanza digital), condición

corporal (CC) según escala de apreciación visual de Vizcarra et al. ⁽¹⁶⁾, Consumo de forraje por técnica de n-alcanos ⁽¹⁷⁾, Producción de leche durante el período de amamantamiento - medición con ordeñadora portátil ⁽⁵⁾ y composición de la leche (NIRS, Milko-Scan, Fross Electric, Hillerød, Denmark - IDF 141C:2000) (Ver Anexo N° 2, cronología de mediciones). Además, en base a la fecha de parto se calcularon los días en lactación y gestación de las vacas.

El consumo de materia seca por día realizado por cada vaca fue estimado a partir de la técnica de n-alcanos ⁽¹⁷⁾, siendo dosificadas dos veces por día (8 y 18 h) con pellets de celulosa que contenían 200 mg del n-alcano (C₃₂) durante 10 días ininterrumpidos en cada momento fisiológico estudiado. A partir del quinto hasta el décimo día de dosificación se realizaron las colectas fecales por el recto de forma concomitante a las dosificaciones del marcador para el posterior análisis de la concentración y las determinaciones de alcanos presentes en el forraje y en las heces (Cromatografía gaseosa, Lab. Farmacognocia – Universidad de Química – UdelaR) según el protocolo descrito por Dove y Mayes ⁽¹⁷⁾.

Las muestras del forraje estudiadas fueron tomadas mediante la técnica de Hand-plucking ⁽¹⁸⁾, diseñada para representar la remoción de forraje que realiza la vaca (siguiendo el pastoreo de cada una de ellas durante 15 minutos durante la sesión de pastoreo en la mañana y en la tarde).

Los datos de alcanos obtenidos de 5 días fueron promediados y se estimó el consumo de materia seca (CMO₁, kg MS/día) mediante la fórmula presentada por Mayes et al. ⁽¹⁹⁾, que considera la concentración del alcano natural C₃₃ y presenta una corrección por la concentración de C₃₂ en forraje: $CMO (kg\ ms/d) = [(H_{33}/H_{32}) * D_{32}] / [CN_{33} - (H_{33}/H_{32}) * CN_{32}]$ donde H: concentración de alcano en heces (mg/kg MS); CN: concentración de alcano en las muestras de campo natural (mg/kg MS); D: concentración de alcano C₃₂ en pellet de celulosa dosificado (mg/kg MS); Subíndices: 32, 33 refieren al alcano estudiado. En base al consumo de kg MS/día estimado, se calculó el consumo de energía metabolizable (CEM) por día para cada vaca en cada momento fisiológico. Cada estimación de kg MS consumida/día fue multiplicada por la estimación de energía metabolizable presente por kg MS (EM_{CN}) según CSIRO⁽¹³⁾, donde $EM_{CN} = 0,172 * digestibilidad\ MS - 1,707$ (kJ / kg PV^{0,75}/día). La Tabla N°2 presenta los promedios de la EM_{CN} para cada momento fisiológico según oferta de forraje.

Tabla N°2: Energía metabolizable por kg de materia seca del forraje ofertado estimadas a partir de las ecuaciones de predicción desarrolladas por CSIRO⁽¹³⁾ (EM_{CN_CSIRO}) según genotipo (GG) para cada momento fisiológico (promedio de potreros dentro de cada bloque)

Momento	GG	Bloque	EM_{CN_CSIRO} (MJ / kg MS)
Lactación	Cruzas	1	9,06
		2	9,20
	Puras	1	9,50
		2	9,22
Gestación	Cruzas	1	9,90
		2	9,87
	Puras	1	9,89
		2	9,71

Por otra parte, para comparar el consumo de materia seca (% PV, kg MS/100 kg PV/d) obtenido mediante la técnica de n-alcános, se estimó esta misma variable mediante ecuaciones desarrolladas por CSIRO⁽¹³⁾ y NASEM⁽¹²⁾, referenciadas en adelante como CMO_2 y CMO_3 respectivamente (ver Anexo N°3).

A partir de los datos de PV, CC y cambio de CC de vacas madres, kg y composición de leche, PV al nacer de terneros y días en gestación, se estimó la energía neta y metabolizable (considerando las eficiencias de utilización correspondientes) retenida en los tejidos corporales y en la leche o para la gestación, según el momento fisiológico. Para ello se utilizaron las fórmulas de estimación y lineamientos presentes en NASEM y NRC^(12, 20) (Ver Anexo N°4).

La variable energía metabolizable requerida para el mantenimiento se calculó mediante tres procedimientos.

La primera metodología consistió en un balance energético. CSIRO⁽¹³⁾ explica que el requerimiento de energía metabolizable de una vaca es igual a la sumatoria de energía metabolizable requerida para el mantenimiento, lactación o gestación y retenida en tejidos. Por tanto, a partir de nuestra estimación de energía metabolizable consumida (CEM) y de la energía

metabolizable retenida explicada anteriormente, realizamos un balance energético despejando la energía metabolizable para mantenimiento por día. Siendo, **CEM= EM_Mantenimiento+ EM_Lactación o EM_gestación + EM_tejidos**, sumando la energía retenida en lactación o gestación y la retenida en tejidos, obtenemos la energía metabolizable retenida total (EM_RT). Consecuentemente, **CEM – EM_RT = EM_Mantenimiento**, posteriormente referenciada como EM_M₁. Este balance se realizó para cada vaca estudiada en cada uno de los momentos fisiológicos.

El segundo procedimiento consistió en la estimación de la energía requerida para el mantenimiento según ecuaciones de predicción desarrolladas por NASEM ⁽¹²⁾, referenciada posteriormente como EM_M₂. Adicionalmente, considerando el carácter pastoril del sistema, se estimó el gasto energético asociado a la actividad de pastoreo por día según NASEM ⁽¹²⁾ (EM_Mact) (ver Anexo N°5).

El tercer procedimiento se basa en que la energía metabolizable consumida (CEM) es igual a la energía neta retenida total, (considerando retenida para gestación o lactación y en tejidos corporales, ER_total), más la producción total de calor (PTC)⁽²¹⁾. La PTC es energía metabolizable que abandona el animal resultante del incremento térmico de los alimentos (procesos de masticación, deglución, metabolismo de los nutrientes, entre otros) y del gasto energético para los procesos metabólicos (con una eficiencia k_m), requeridos para el mantenimiento del animal ^(22, 23).

Por lo tanto, teniendo la estimación de CEM y de la ER_total, se estimó la PTC para cada vaca en cada momento fisiológico, siendo **CEM-ER_total = PTC** ⁽²¹⁾. Cuando existe una relación lineal entre la PTC y el CEM, la relación entre las mismas se puede expresar con la siguiente regresión: **PTC= Intercepto+ b*CEM**, donde: el intercepto representa la producción de calor en ayuno y por tanto refiere a los requerimientos para el metabolismo basal (Energía neta requerida para el metabolismo basal por día, ENmet.B); b es el incremento calórico por unidad de CEM y la energía metabolizable para el mantenimiento por día corresponde al valor de consumo cuando PTC=CEM ⁽²¹⁾, referenciada en adelante como EM_M₃.

En concordancia con Lofgreen y Garrett ⁽²⁴⁾, se graficó el log base 10 de la PTC (kJ/kg PV^{0,75}/d) en función de CEM (kJ/kg PV^{0,75}/d) porque la estimación de la ENmet.B

(Intercepto) resultó acorde a la bibliografía de esta forma ^(24,25). La EM_{M3} se estimó mediante iteraciones (correspondiendo a PTC=CEM). Las curvas de regresión y estimaciones de ENmet.B y EM_{M3} correspondientes, se realizaron considerando todo el conjunto de registros del trabajo y distinguiendo entre las vacas cruzas en comparación a las puras. Se graficó mediante el PROC REG en el programa estadístico SAS (SAS University Edition).

Posteriormente, se estudió estadísticamente el efecto del genotipo sobre las características productivas medidas que se utilizaron como fuente de información para la estimación de la energía retenida. Estas variables fueron: peso vivo (PV), condición corporal (CC) y cambio de CC de las vacas madres, día en lactancia, kg de leche por día, composición de la leche (grasa, proteína, lactosa), días en gestación, peso vivo al nacer de terneros.

Se estudió el efecto genotipo sobre el consumo de materia seca por kg de peso vivo por día (%PV, kg MS /100 kg PV/d) según técnica de n-alcanos (CMO₁), CSIRO y NASEM (CMO₂ y CMO₃ respectivamente). Se analizó el efecto genético sobre el consumo de energía metabolizable (CEM, kJ/kg PV^{0,75}/d), la energía metabolizable retenida total (EM_{RT}, kJ/kg PV^{0,75}/d; la energía metabolizable requerida para el mantenimiento (kJ/kg PV^{0,75}/d) obtenida a partir del balance energético (EM_{M1}), estimada según NASEM ⁽¹²⁾ (EM_{M2}), y la energía metabolizable requerida para la actividad de pastoreo (EM_{Mact}).

Se estudió también la significancia del efecto genético sobre la estimación de energía de mantenimiento a partir de curvas de regresión (EM_{M3}) y la energía neta para el metabolismo basal ENmetB (kJ/kg PV^{0,75}/d).

Análisis estadístico

Se estudió la significancia del efecto genético (cruzas vs puras) sobre las características productivas CC, cambio de CC, PV, kg y composición de leche producida de las vacas de cría y PV al nacer de los terneros, según momento fisiológico. Se realizó mediante el procedimiento PROC MIXED en SAS (SAS University Edition) incluyendo en el modelo como efectos aleatorios a la oferta de forraje y el bloque, y la fecha de parto como covariable lineal. Se compararon además las medias de mínimos cuadrados mediante la prueba de Tukey ajustado.

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + O_j + B_k + F_l + \epsilon_{ijkl},$$

Donde:

μ : media general del experimento

y_{ijkl} : variable de respuesta

G_i : Genotipo (Puros: Aberdeen Angus (AA), Hereford (HH), Cruzas F1 (AH) y (HA))

O_j : efecto aleatorio de oferta de forraje (Alta y Baja)

B_k : Efecto aleatorio del Bloque

F_l : Fecha de parto

ϵ_{ijkl} : error experimental

Días en lactancia y gestación también fueron evaluadas con este procedimiento y modelo, con la única diferencia de no considerar la fecha de parto como covariable.

Además, se analizó el efecto fijo del grupo genético (cruzas vs puras) sobre las variables de CMO₁, CMO₂, CMO₃, CEM, EM_RT y EM_M₁, EM_M₂ y EM_Mact. El análisis se realizó mediante el procedimiento PROC MIXED del programa estadístico SAS (SAS University Edition). Se trabajó con un modelo de medidas repetidas (considerando las estimaciones de lactación y gestación), de efectos aleatorios el bloque y la oferta de forraje y se consideró la fecha de parto como covariable.

Se compararon las medias de mínimos cuadrados mediante la prueba de Tukey ajustado. Sobre estas variables se estudió la significancia del efecto momento y de su interacción con el genotipo, pero no fueron significativas y por ello no se incluyeron en el modelo final presentado.

$$Y_{ijklm} = \mu + G_i + O_j + B_k + F_l + \varepsilon_{ijkl} + M_m + \varepsilon_{ijklm},$$

Donde:

μ : media general del experimento

y_{ijklm} : variable de respuesta

G_i : Genotipo (Puros: Aberdeen Angus (AA), Hereford (HH), Cruzas F1 (AH) y (HA))

O_j : efecto aleatorio de oferta de forraje (Alta y Baja)

B_k : Efecto aleatorio del Bloque

F_l : Fecha de parto

ε_{ijkl} : error entre vacas

M_m : momento

ε_{ijklm} : error entre medidas dentro de vacas

Por último, se estudiaron las diferencias estadísticas entre las curvas de regresión generadas con PROC REG en SAS (SAS University Edition) del log base 10 de la PTC (kJ/kg PV^{0,75}/d) en función de CEM (kJ/kg PV^{0,75}/d) a partir de las que se estimó la EM_{M3} y la ENmetB, generando intervalos de 95 % de confianza para cada estimación de ordenada en el origen y pendiente obtenida.

$$Y_i = a + bx + \epsilon_i,$$

Donde:

Y_i: variable de respuesta que corresponde a log en base 10 de PTC (kJ/kg PV^{0,75}/d)

a: ordenada en el origen, producción de calor en ayuno, biológicamente interpretado como la energía neta requerida para el metabolismo basal.

b: es el incremento calórico por unidad de "x"

x: corresponde a unidad de CEM (kJ/kg PV^{0,75}/d)

ε_i: error experimental

Edición de datos

Se debieron eliminar 5 registros (2 correspondientes a lactación y 3 en gestación) debido a que la estimación del consumo mediante la técnica de n-alcenos presentó errores.

Resultados

Efecto del grupo genético sobre los resultados productivos

El estudio del efecto genético sobre estas variables es importante porque esta información fue utilizada para estimar la energía retenida por las vacas. En Tabla N°3 se presentan las medias de mínimos cuadrados y error estándar para las variables PV, CC, cambio de CC, días en lactancia, kg y composición de la leche producida según grupo genético del momento fisiológico lactación.

Tabla N°3: Medias de mínimos cuadrados (MMC) y Error Estándar (EE) para Peso Vivo (PV), Condición Corporal (CC), Cambio de CC, Días de Lactancia, kg y composición de la leche por día producidos en vacas Cruzas (AH y HA) y Puras (AA y HH) y durante el período de la lactancia estudiado

Variable	Cruzas (media ± EE)	Puras (media ± EE)	P
PV (kg)	445±18,35	415±11,58	0,173
CC (unidades)	4,6±0,27 a	4,08±0,24 b	0,012
Cambio de CC (unidades)	-0,7±0,17	-0,5±0,10	0,444
Día en lactancia	49±8,20	37±5,02	0,234
Kg de leche/d	6,6±1,99	7,30±1,79	0,599
Comp. de leche (%)			
Grasa	4,3±0,58	4,2±0,48	0,833
Proteína	2,7±0,09	2,9±0,06	0,181
Lactosa	4,8±0,08	4,9±0,05	0,450

Medias estimadas acompañadas por letras distintas son distintas estadísticamente ($P \leq 0,05$).

Referencias: vacas Cruzas F1 AH y HA; vacas Puras AA y HH.

Las vacas cruzas presentaron mayor CC que las puras ($P=0,012$), y similares pesos vivos. Por otra parte, no existió diferencia significativa entre los genotipos respecto al cambio de CC, producción y composición de leche y días en lactancia. A continuación, en la Tabla N°4 se presentan las MMC para las variables PV, CC, cambio de CC, día de gestación y peso vivo al nacimiento de los terneros (PN terneros), según grupo genético (vacas de cría cruzas y puras) durante el período de la gestación estudiado.

Tabla N°4: Medias de mínimos cuadrados (MMC) y Errores Estándar (EE) para peso vivo (PV), condición corporal (CC), cambio de CC, Días de gestación y peso al nacer de los terneros (PN terneros) en vacas Cruzas (AH y HA) y Puras (AA y HH) y durante el período de gestación estudiado

Variable	Cruzas (media \pm EE)	Puras (media \pm EE)	P
PV (kg)	482 \pm 15,99	448 \pm 12,73	0,100
CC (unidades)	4,3 \pm 0,19	4,3 \pm 0,15	0,708
Cambio de CC (unidades)	-0,1 \pm 0,15	0,3 \pm 0,13	0,236
Día de gestación	156 \pm 3,59	157 \pm 2,82	0,789
PN terneros	36 \pm 2,39	35 \pm 2,10	0,707

Medias estimadas acompañadas por letras distintas son distintas estadísticamente ($P\leq 0,05$).

Referencias: vacas Cruzas F1 AH y HA; vacas Puras AA y HH.

Las variables estudiadas no fueron afectadas estadísticamente por el grupo genético en el período de gestación estudiado.

Efecto del grupo genético sobre el consumo y partición de la energía

En la Tabla N°5 se presentan las MMC y EE de la variable consumo de materia seca de las vacas de cría estimadas a partir de diferentes procedimientos y ecuaciones de predicción.

Tabla N°5: Medias de mínimos cuadrados (MMC) y Errores Estándar (EE) para el consumo de materia seca (%PV, kg ms/100 kg PV/d) estimada a partir de la técnica de n-alcenos, ecuaciones de CSIRO ⁽¹³⁾ y NASEM ⁽¹²⁾, CMO₁, CMO₂ y CMO₃ respectivamente de vacas Cruzas (AH y HA) y Puras (AA y HH) y

Consumo (% PV)	Cruzas (media ±EE)	Puras (media ± EE)	P
CMO ₁	1,61±0,14 b	1,93±0,12 a	0,039
CMO ₂	1,41±0,16	1,61±0,15	0,063
CMO ₃	2,27±0,08 b	2,40±0,08 a	0,013

Medias estimadas acompañadas por letras distintas son distintas estadísticamente (P ≤0,05).

Referencias: vacas Cruzas F1 AH y HA; vacas Puras AA y HH.

Se destaca la concordancia entre las estimaciones con las tres metodologías presentadas, según las que existió un menor consumo por parte de las vacas cruzas, (tendencia según estimación de CSIRO ⁽¹³⁾).

En la Tabla N°6 se presentan las MMC y EE de las variables consumo de energía metabolizable, energía metabolizable retenida total, energía metabolizable para el mantenimiento resultante del balance de energía y la energía metabolizable para mantenimiento a partir de las estimaciones NASEM ⁽¹²⁾ y la energía metabolizable asociada a la actividad de pastoreo estimada con la ecuación desarrollada por NASEM ⁽¹²⁾ – variables expresadas en función del peso vivo metabólico (kJ/kg PV^{0,75}/d) para cada grupo genético. Los resultados consideran los dos momentos fisiológicos en estudio.

Tabla N°6: Medias de mínimos cuadrados (MMC) y Errores estándar (EE) para el consumo de energía metabolizable (CEM), energía metabolizable retenida total (EM_RT), energía metabolizable para el mantenimiento según balance energético (EM_M₁) y ecuaciones de predicción de NASEM ⁽¹²⁾ (EM_M₂) y la energía metabolizable asociada a la actividad de pastoreo (EM_Mact) – unidad kJ/kg PV^{0,75}/d - para vacas Cruzas (AH y HA) y Puras (AA y HH) y (considerando gestación y lactación)

Variable (kJ/kg PV ^{0,75} /d)	Cruzas (media ± EE)	Puras (media ± EE)	P
CEM	700,35±74,98 b	835,44±65,37 a	0,036
EM_RT	146,56±68,47	159,64±63,79	0,758
EM_M ₁	550,58±105,35 b	676,07±99,93 a	0,032
EM_M ₂	535,62±11,58	525,87±9,25	0,414
EM_Mact	118,75±13,04	112,14±12,83	0,101

Medias estimadas acompañadas por letras distintas son distintas estadísticamente (P≤0,05).

Referencias: vacas Cruzas F1 AH y HA; vacas Puras AA y HH.

Consecuentemente del menor consumo de materia seca estimado (Tabla N°5), la energía metabolizable consumida también fue menor (P=0,036). Además, los dos grupos genéticos no difirieron en la energía retenida y consecuentemente la estimación de la energía para el mantenimiento EM_M₁ resultó menor (P=0,032) para las vacas cruzas en comparación con las puras. La EM_M₂, que depende principalmente del peso vivo del animal, no fue estadísticamente distinta entre los grupos genéticos. La estimación de energía metabolizable requerida para la actividad de pastoreo representa el 22 y 21% de la energía requerida para el mantenimiento EM_M₂ para cruzas y puras respectivamente.

Por otra parte, se presentan las funciones de regresión entre la PTC y el CEM por kg de PV metabólico (Tabla N°7). Los valores de PTC utilizados estaban expresados como logaritmo base 10 ya que permitió una estimación razonable de la PTC en ayuno, en concordancia con lo realizado por Lofgreen y Garrett ⁽²⁴⁾. Se presenta la regresión general (considerando todos los registros) y una curva de regresión para cada grupo genético, cruzas y puras.

Tabla N°7: Ecuaciones de regresión de la producción total de calor expresada como Log10 (Log10 PTC, kJ/kg PV^{0,75}/d) en función del consumo de energía metabolizable (CEM, kJ/kg PV^{0,75}/d) (estimación ± error estándar). Estimación de la energía neta requerida para el metabolismo basal (ENmet.B) y energía metabolizable para el mantenimiento (EM_M₃)

	Regresión	n	R ²	ENmet.B	EM_M ₃
				(kJ/kgPV ^{0.75} /d)	
GL	LogPTC= 2,4891±0,04 + 0,0004 ±0,00005(CEM)	43	0,66	306	530
C	LogPTC= 2,4002±0,10 + 0,0006 ±0,0001(CEM)	14	0,57	251	453
P	LogPTC= 2,5173±0,05 + 0,0004 ±0,00005(CEM)	29	0,67	329	561

Referencias: GL: general, considerando todas las vacas Cruzas y Puras C: vacas Cruzas F1 AH y HA. P: vacas Puras HH y AA.

Primeramente, los parámetros - pendiente de la curva e intercepto de todas las curvas presentados son significativos (prueba Pr>|t|).

Las regresiones estimadas, correspondientes a los registros de vacas cruzas en comparación a las puras, no fueron estadísticamente distintas, (no existió diferencia estadística entre las estimaciones de los parámetros intercepto y pendiente de la curva). Independientemente, a nivel de ensayo, la curva de regresión para vacas cruzas y puras fue distinta y las estimaciones de la energía neta necesaria para el metabolismo basal y la energía metabolizable requerida para el mantenimiento fueron menores para las cruzas que las puras.

Discusión

En base a la mayor eficiencia biológica (kg ternero destetado/vaca entorada/año) y a mejores CC y PV registrados a nivel nacional e internacional por parte de las vacas de cría cruzas (AH y HA) en comparación a las puras (AA y HH) (7,4,9,5,6), asociado a una posible mayor capacidad adaptativa a las restricciones nutricionales (10,11), se intentó contribuir al conocimiento del efecto genético sobre el consumo y la partición de la energía, especialmente sobre la energía requerida para el mantenimiento, con el fin último de mejorar la sostenibilidad de la cría ganadera en campo natural.

La CC de las vacas cruzas fue superior estadísticamente en lactación ($P=0,012$), no existiendo diferencias significativas durante la gestación. Tampoco se registraron diferencias estadísticas entre los pesos vivos y los cambios de CC de los dos genotipos durante los períodos fisiológicos. En relación, Do Carmo et al. (7), registraron mayor PV y CC ($P\leq 0,05$) en vacas cruzas (recíprocas F1, AH y HA) en comparación a puras (AA y HH), considerando un periodo de -120 a 120 días post parto comprendiendo gestación y lactación. Además, otras investigaciones nacionales (10,11) que trabajaron con los mismos genotipos, identificaron que durante la gestación las vacas cruzas presentaron también mayor PV y CC ($P\leq 0,05$), lo que no coincide con nuestros resultados.

Por otra parte, durante el período de medición en lactación, las vacas de distintos genotipos se encontraban en días de lactación similares, siendo su producción y composición de leche también semejante. No se registraron diferencias estadísticas en los días de gestación entre las vacas de los distintos grupos genéticos tampoco. Además, no hubo diferencias entre el peso al nacer de los terneros hijos de las madres cruzas y puras, como también registran Gutierrez et al. (26) comparando los terneros hijos de madres cruzas (recíprocas F1, AH y HA) y puras (AA y HH). No obstante, estos últimos autores registraron que las madres cruzas producían más kg de leche por día que las madres puras. Estas diferencias con la bibliografía pueden estar explicadas por múltiples factores, como condiciones ambientales (temperatura, registros pluviométricos, entre otras, ya que implicaron años de trabajo de campo distintos), como también factores asociados al manejo (oferta de forraje real, por ejemplo). En particular considerando la variable producción de leche, las mediciones fueron realizadas recabando

información de momentos específicos. La medición de esta variable comprendiendo el ciclo completo de lactación puede ser una estrategia más sensible a la variabilidad entre los genotipos.

Por otra parte, el consumo de materia seca (% PV) (Tabla N°5) estimado mediante la técnica de n-alcanos (CMO₁) fue significativamente menor por parte de las vacas cruzas en comparación al de las puras, $1,61 \pm 0,14$ y $1,93 \pm 0,12$ %PV ($P = 0,039$) respectivamente. Los valores estimados por esta técnica fueron similares y coherentes a los publicados por Da Trindade et al. ⁽²⁷⁾ quienes en campo natural (bioma pampa) con 500 a 2000 kg MS/ha forraje disponible registraron consumos menores a 1,8 y de hasta 3% PV trabajando con vaquillonas Angus-Hereford y Nelore (196 ± 4 kg promedio). Debe considerarse que las concentraciones del alcano C₃₂ en nuestras muestras de forraje de lactación y gestación fueron mayores en comparación a la bibliografía consultada como Aguiar et al. ⁽²⁸⁾, que trabajó con pasturas compuestas principalmente por *Cynodon dactylon* o Mayes et al. ⁽¹⁹⁾ y Savian et al. ⁽²⁹⁾ con pasturas de ryegrass. Por lo tanto, esto puede estar afectando los resultados obtenidos ya que la fórmula utilizada ⁽¹⁹⁾ corrige por la concentración de C₃₂ en el forraje. Esto puede estar relacionado con el protocolo de la técnica de n-alcanos utilizado. El mismo sufrió ciertas modificaciones posteriores al desarrollo de este trabajo asociadas a la prevención de posible contaminación de las muestras de campo natural con C₃₂ presente en las dosificaciones de los animales.

El consumo estimado mediante las ecuaciones de predicción desarrolladas por CSIRO⁽¹³⁾, CMO₂ de las vacas cruzas tendió a ser menor que el de las puras, siendo $1,41 \pm 0,16$ y $1,61 \pm 0,15$ %PV ($P = 0,063$) para cruzas y puras respectivamente. Por otra parte, los valores de consumo estimados mediante las ecuaciones de NASEM ⁽¹²⁾, CMO₃, fueron mayores numéricamente que CMO₁ y CMO₂, siendo $2,27 \pm 0,08$ y $2,40 \pm 0,08$ %PV ($P = 0,013$) para cruzas y puras correspondientemente. Al trabajar con las ecuaciones desarrolladas por CSIRO ⁽¹³⁾ en este trabajo, no fue posible considerar la identificación de estaciones de pastoreo en el forraje ofrecido, pudiendo afectar las estimaciones de CMO₂ correspondientes. Consecuentemente, se resalta la coherencia entre las tres metodologías de estimación de consumo utilizadas que estiman un menor consumo por parte de las vacas cruzas (estadística o tendencia dependiendo el procedimiento).

Por otra parte, a partir de CMO_1 se estimó el consumo de energía metabolizable CEM (Tabla N°6), que fue también menor por parte de las vacas cruzas que puras, respectivamente, $700,35 \pm 74,98$ vs $835,44 \pm 65,37$ kJ/kg $PV^{0,75/d}$ ($P=0,036$). Se utilizó un mismo valor de EM del forraje para todas las vacas que se encontraban pastoreando en un mismo potrero, no siendo posible conocer la variabilidad de la concentración energética de la dieta seleccionada entre las vacas implicadas en el estudio y por tanto entre genotipos.

La energía retenida total (Tabla N°6) que considera la energía retenida en los tejidos corporales y retenida en leche o en gestación dependiendo el momento fisiológico, no fue estadísticamente distinta entre cruzas y puras ($146,56 \pm 68,47$ y $159,64 \pm 63,79$ kJ/kg $PV^{0,75/d}$ ($P=0,758$). La estimación de la energía retenida se basa en los registros productivos que, en efecto no fueron estadísticamente distintos entre los genotipos (a excepción de la CC durante lactación) (Tablas N°3 y 4). No existieron diferencias significativas en la producción y composición de leche, en los días en gestación y lactación de las vacas durante los períodos de medición y tampoco en los pesos al nacer de los terneros. Además, para estimar la energía retenida en tejidos corporales se consideró el cambio de CC entre el inicio y fin del periodo estudiado para cada momento fisiológico y este no fue distinto entre los genotipos en lactación ni en gestación (Tablas N°3 y 4).

Por tanto, las vacas cruzas consumieron menos energía (kJ/kg $PV^{0,75/d}$) pero retuvieron lo mismo (en tejidos corporales y en leche o utilizado en gestación). Consecuentemente, a partir del balance energético en términos de energía metabolizable (Tabla N°6) se estimaron menores requerimientos energéticos para el mantenimiento, EM_{M_1} , de las vacas cruzas en comparación a las puras, $550,58 \pm 105,35$ vs $676,07 \pm 99,93$ kJ/kg $PV^{0,75}$ ($P=0,032$) respectivamente. Este resultado difiere a la estimación de energía metabolizable para el mantenimiento a partir de las ecuaciones de NASEM ⁽¹²⁾, EM_{M_2} , porque no existieron diferencias entre los genotipos, siendo $535,62 \pm 11,58$ y $525,87 \pm 9,25$ kJ/kg $PV^{0,75}$ para cruzas y puras respectivamente. Incluso según esta última estimación, a nivel de ensayo, las vacas cruzas presentaron mayores requerimientos de mantenimiento, lo que es concordante con el peso vivo superior (numéricamente) registrado.

Es altamente probable que los animales en pastoreo caminen más que los animales estabulados y que este requerimiento se encuentre influenciado por varios factores-incluyendo

la calidad y disponibilidad de forraje, topografía, condiciones climáticas, distribución del agua, genotipo, interacciones entre estos factores y la variación entre individuos que también puede ser significativa ⁽¹²⁾. Considerando la característica pastoril del sistema estudiado, los requerimientos de energía metabolizable asociados a la actividad de pastoreo estimados, EM_Mact, fueron $118,75 \pm 13,04$ y $112,14 \pm 12,83$ kJ/kg PV^{0,75} y representaron el 22 y 21% de la EM_M₂ de vacas cruzas y puras respectivamente

A nivel nacional Jasinsky ⁽³⁰⁾ estudió en vacas lecheras el efecto de incluir el pastoreo a una dieta control compuesta por una ración mixta. La inclusión del pastoreo se asoció a un aumento de alrededor del 10% de los requerimientos de energía para el mantenimiento probablemente asociado a costos de actividad, digestión y/o metabolismo. Por otra parte, CSIRO ⁽¹³⁾ estimó un incremento en los requerimientos de mantenimiento de 10 a 20% en vacunos en pastoreo en comparación a vacunos estabulados. Este incremento alcanzó hasta el 50% en condiciones pastoriles extensivas, con pendientes donde los animales debían caminar largas distancias en busca de agua y áreas de pastoreo de mejor calidad. La relación encontrada en este trabajo entre la EM_Mact y EM_M₂ se encuentra dentro de rango registrado en la bibliografía. Sin embargo, la ecuación desarrollada por NASEM ⁽¹²⁾ utilizada para estimar el gasto energético asociado al pastoreo, puede sobreestimar los requerimientos si se trabaja con vacas ya adaptadas al ambiente pastoril y los autores reconocen la necesidad de seguir trabajando esta temática.

La energía requerida para el mantenimiento estimada a partir de la regresión de la PTC (log10) en función de CEM, EM_M₃, (Tabla N°7), considerando todos los registros recabados durante el ensayo, fue de 530 kJ/kg PV^{0,75}/d y la energía neta para el metabolismo basal ENmetB de 306 kJ/kg PV^{0,75}/d. Estos resultados son similares a los estimados en el trabajo presentado por Carriquiry ⁽³¹⁾ desarrollado en la estación experimental EEER – Facultad De Agronomía con vacas multíparas puras y cruzas (AA, HH y HA, AH), sin distinguir entre genotipos, que pastoreaban en campo natural. Este trabajo registró que la energía metabolizable para el mantenimiento del conjunto de vacas fue de 567 kJ/kg PV^{0,75}/d. Además, la energía neta requerida para el metabolismo basal estimada en este trabajo ⁽³¹⁾ fue de 323 kJ/kg PV^{0,75}/d y 173 kJ/kg PV^{0,75}/d correspondiente a un grupo de vacas que se encontraban en balance energético positivo y negativo respectivamente.

Comparando entre genotipos, la ENmet.B no fue estadísticamente distinta entre genotipos, siendo para cruza y puras 251 y 329 kJ/kgPV^{0,75}/d correspondientemente. Tampoco el efecto genético fue significativo sobre la EM_{M3}. Igualmente se puede observar que a nivel del ensayo, la EM_{M3} de las cruza fue menor, siendo 453 y 561 kJ/kg PV^{0,75}/d para cruza y puras respectivamente y coincide con la estimación generada a partir del balance energético previamente analizado.

Consecuentemente, a partir del balance energético y de la regresión de la PTC en función del CEM, las vacas cruza presentaron requerimientos para el mantenimiento menores (a nivel poblacional según el balance energético, y a nivel de ensayo considerando las estimaciones a partir de la regresión). Comparando estas dos metodologías, los requerimientos de mantenimiento según el balance energético, EM_{M1}, son mayores (numéricamente) a los estimados a partir de las curvas de regresión, EM_{M3}. Adicionalmente, los valores estimados de EM_{M1}, fueron superiores a los estimados a partir de las ecuaciones de predicción de NASEM, EM_{M2}, especialmente considerando vacas puras. Igualmente, todos los valores estimados en el presente trabajo se encuentran aproximadamente dentro del rango registrado por otros autores a nivel internacional ⁽²⁵⁾. Cottrill et al. ⁽²⁵⁾, realizan una revisión bibliográfica extensa y presentan estimaciones de requerimientos para el mantenimiento de vacas Angus, Hereford y cruza recíprocas de entre 440 a 607 kJ/kg PV^{0,75}/d como valor mínimo y máximo registrados respectivamente consecuentemente. Debe considerarse también que los trabajos considerados en esta revisión ⁽²⁵⁾, incluyeron vacas secas, no gestantes, vaquillonas en lactación y vacas adultas que no se encontraban en su pico productivo de leche. Esto nuevamente destaca la importancia de seguir generando información sobre los requerimientos energéticos de las vacas de cría en los distintos estados fisiológicos incluyendo gestación y lactación, especialmente en momentos de alta producción de leche.

A pesar de que en este experimento no fue posible estimar la PTC mediante la técnica de pulso de oxígeno desarrollada por Brosh et al. ⁽²¹⁾, basada en el registro del consumo de oxígeno y tasa cardíaca, la misma provee múltiples beneficios para nuestras condiciones que sería interesante continuar estudiando y probando porque fue generada especialmente para sistemas productivos pastoriles. En primer lugar, esta técnica permitiría independizarse de sistemas de predicción de requerimientos para lactación, gestación y energía acumulada en

reservas corporales desarrollados en condiciones ambientales distintas a las de Uruguay. Segundo, futuros experimentos se podrían concentrar en la medición de dos variables, PTC y CEM, pudiendo simplificar el trabajo de campo y obtener más registros por cada variable en estudio.

Los menores requerimientos energéticos para el mantenimiento de las vacas cruzas (a nivel poblacional y de ensayo - EM_M₁ y EM_M₃) resultan ser acordes a la información nacional e internacional que evidencia mayor eficiencia productiva por parte de estas frente a las vacas de cría puras (AA y HH). En la misma estación experimental, años previos a este trabajo, Pereyra et al. ⁽⁴⁾, demostraron que las vacas cruzas presentaron mayor porcentaje de destete que las vacas puras, 85 y 60,3% ($P \leq 0,05$), respectivamente, y los terneros hijos de las primeras fueron más ($P \leq 0,05$) pesados (159,1 kg promedio) que los hijos de madres puras (143,3 y 151,6 kg HH y AA respectivamente). Además, Morris et al. ⁽⁶⁾ estimaron una heterosis de 26,3% en la eficiencia productiva (kg ternero destetado/vaca entorada/año) y Espasandin et al. ⁽⁵⁾, identificaron que los terneros hijos de madre crusa fueron en promedio 28 kilos más pesados ($P \leq 0,05$), explotándose una heterosis total (maternal e individual) del 14%. Simultáneamente, los resultados son acordes a la mayor capacidad adaptativa a restricciones alimenticias sugerida por investigación nacional previa ^(10 y 11), que trabajando con los mismos genotipos identificaron que el peso relativo del complejo del estómago y omaso en puras tendió ($P=0,1$) a ser mayor que el presente en cruzas y a su vez en condiciones de baja oferta de forraje estas diferencias fueron más evidentes. En este trabajo, quedó evidenciado la importancia de apostar por técnicas que permitan considerar la selectividad del consumo individual de las vacas, y poder de esta forma conocer la digestibilidad y concentración energética de la dieta seleccionada por cada una de ellas (CEM). Esta información es fundamental para conocer posibles diferencias en la selectividad entre e inter-genotipos, y consecuentemente mejorar la precisión en la estimación de los requerimientos energéticos para el mantenimiento.

Uno de los principales aportes de este trabajo es la identificación de limitantes y aspectos importantes a considerar en futuros trabajos al momento de evaluar el consumo y la partición de la energía de vacas de cría en sistemas pastoriles. En este sentido este proyecto es parte de un conjunto de trabajos que buscan incrementar la eficiencia y rentabilidad de los sistemas productivos de carne en el país. La importancia que tienen los requerimientos energéticos para

el mantenimiento de las vacas de cría en el sistema productivo de carne ha motivado su estudio. Sin embargo, la información sobre esta variable y los factores que la afectan es aún escasa. Por esta razón se considera pertinente seguir trabajando y generando información sobre esta temática especialmente considerando los genotipos Aberdeen Angus, Hereford y cruza F1 que caracterizan los sistemas de cría nacionales, contribuyendo consecuentemente al mejor entendimiento de estas relaciones y a la permanencia de la cría ganadera nacional sostenible ambiental y económicamente.

Bibliografía

1. Ferrell CL, Jenkins TG. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. *J. Anim. Sci.* 1985; 61(3):725- 741.
2. Ferrell CL, Jenkins, TG. Efficiency of cows of different size and milk production potential. USDA, ARS, Germplasm Evaluation Program Progress Report no. 10. Meat Animal Research Center, Clay Center, Nebraska, USA. 1982. 12 – 24 p.
3. Soca P. Aportes de la investigación realizada a la toma de decisiones en sistemas ganaderos y a la discusión sobre el futuro del campo natural. En: Soca P, Espasandin A, Carriquiry M. Montevideo: Hemisferio sur SRL; 2013. INIA, Serie FPTA n° 48. p. 81-86.
4. Pereyra F, Urioste JI, Diego G, Peñagaricano F, Dorrel B, Espasandin AC. Parámetros genéticos en la etapa de cría para el cruzamiento entre Hereford y Angus en campo natural. *Agrociencia Uruguay.* 2015; 19 (1): 140-149.
5. Espasandin AC, Gutierrez V, Casal A, Graña A, Bentancur O, Carriquiry M. Modeling Lactation Curve in Primiparous Beef Cattle. *J. Agric. Sci.* 2016; 8 (4): 116-125.
6. Morris CA, Baker RL, Johnson DL, Carter AAH, Hunter JC. Reciprocal crossbreeding of Angus and Hereford cattle: 3 Cow weight, reproduction, maternal performance and lifetime production. *New Zeal. J. Agr Res.* 1987; 30: 453-467.

7. Do Carmo M, Sollenberg LE, Carriquiry M, Soca P. Controlling herbage allowance and selection of cow genotype improve cow-calf productivity in Campos grasslands. *Prof. Anim. Sci.* 2018; 34: 32 – 41.
8. NRC (National Research Council). Nutrient requirements of beef cattle. Washington D.C.: National Academy Press; 2000. 232 p.
9. Espasandin AC, Do Carmo M, López-Mazz C, Cal V, Cáceres O, Bentancur D, Carriquiry M, Soca P. Modificaciones en la oferta de forraje de campo natural y del grupo genético de vacas en busca de eficiencia en la cría vacuna. En: Soca P, Espasandin AC, Carriquiry M. S. Montevideo: Hemisferio Sur SRL; 2013. INIA, Serie FPTA n° 48. p. 55-64.
10. Casal A, Astessiano AL, Espasandin AC, Trujillo AI, Soca P, Carriquiry M. Changes in body composition during the winter gestation period in mature beef cows grazing different herbage allowances of native grasslands. *Anim. Prod. Sci.* 2016; 57(3): 520-529.
11. Casal A, Veyga M, Astessiano AL, Espasandin AC, Trujillo AI, Soca P, Carriquiry M. Visceral organ mass, cellularity indexes and expression of genes encoding for mitochondrial respiratory chain proteins in pure and crossbred mature beef cows grazing different forage allowances of native pastures. *Livest. Sci.* 2014; 167: 195-205.
12. NASEM (National Academies of Science, Engineering, and Medicine). Nutrient requirements of beef cattle. Octava edición revisada. Washington D.C.: National Academy Press; 2016. 475 p.
13. CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization). Nutrient requirements of domesticated ruminants. Melbourne: CSIRO publishing; 2007. 270 p.
14. Haydock KP, Shaw NH. 1975. the comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 1975; 15: 663-670.

15. 't Mannetje L. Measuring biomass of grassland vegetation. En: 't Mannetje L, Jones RM (Ed) Field and laboratory methods for grassland and animal production research. Cambridge: CABI Publishing; 2000. p. 151-177.
16. Vizcarra Ja, Ibañez W, Orcasberro R. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal en vacas Hereford. Invest. Agr. 1986; 7: 45-47
17. Dove H, Mayes RW. Protocol for the analysis of n-alkanes and other plant-wax compounds and for their use as markers for quantifying the nutrient supply of large mammalian herbivores. Nat. Protoc. 2006; 1:1680-1697.
18. De Vries MJ, Van Der Beek S, Kaal-Lansbergen LMTE, Ouweltjes W, Wilmink JBM. Modeling of energy balance in early lactation and the effect of energy deficits in early lactation on first detected estrus postpartum in dairy cows. J. Dairy Sci. 1995; 82: 1927-1934.
19. Mayes RW, Lamb CS, Colgrove PM. The use of dosed and herbage n-alkanes as marker for the determination of herbage intake. J. Agric. Sci. 1986; 107: 161-170.
20. NRC (National Research Council). Nutrient requirements of dairy cattle. Washington, D.C.: National Academy Press; 2001. 381 p.
21. Brosh A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. J. Anim. Sci. 2007; 85: 1213-1227.
22. McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. Nutrición Animal. Zaragoza: Editorial Acribia S.A; 1995. 576 p.
23. Church CD. El rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Zaragoza: Editorial Acribia S.A.; 1993.641 p.
24. Lofgreen GP, Garrett WN. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. J. Anim. Sci. 1968; 27: 793-806.
25. Cottrill B, Dawson L, Yan T, Xue B. A review of the energy, protein and phosphorus requirements of beef cattle and sheep. Defra Project WQ 0133. 2009. 87 p.

26. Gutierrez V, Espasandin AC, Astessiano AL, Casal A, López-Mazz C, Carriquiry M. Calf fetal and early life nutrition on grazing conditions: metabolic and endocrine profiles and body composition during the growing phase. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2012; 1-12.
27. Da Trindade JK, Neves FP, Pinto CE, Bremm C, Mezzalira JC, Nadin LB, Genro TCM, Gonda HL, Carvalho PCF. Daily forage intake by cattle on natural grassland: responde to forage allowance and sward structure. *Rangeland Ecol. Manag.* 2015
28. Aguiar AD-S, Forbes TDA, Rouquette FMJr, Tedeschi LO. Evaluating the statistical variation in estimating forage dry matter intake of grazing Brahman bulls using n-alkanes. *J Agric. Sci.* 2013; 151: 129-140.
29. Savian JV, Genro TCM, Barth Neto A, Bremm C, Azevedo EB, David DB, Gonda HL, Carvalho PCF. Comparison of faecal crude protein and n-alkanes techniques to estimate herbage intake by grazing sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2018; 242: 144-149.
30. Jasinsky AS. 2019. Gasto energético de vacas Holando con y sin inclusión de pastura en la dieta. Tesis Magister en Ciencias Agrarias Op. Ciencias Animales. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, UdelaR. 89 p.
31. Carriquiry M. Uso de la energía en vacas de cría en campo natural. Jornada de Cría Vacuna – INIA Tacuarembó. 2018

3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

Los requerimientos energéticos para el mantenimiento de las vacas de cría representan aproximadamente el 50% de los requerimientos totales del ciclo productivo de carne vacuna (Ferrell y Jenkins, 1982), comprendiendo un proceso ineficiente (Ferrell y Jenkins, 1985). No obstante, a nivel nacional, la utilización de vacas de cría cruzas F1 recíprocas Aberdeen Angus y Hereford (AH y HA) ha permitido obtener mayor porcentaje y peso al destete de los terneros en comparación con madres puras (AA y HH) (Pereyra et al. 2015, Espasandin et al. 2013, Espasandin et al. 2006). Casal et al. (2014) y Casal et al. (2016) han sugerido que las vacas cruzas en comparación a las puras tienen mayor plasticidad para adaptarse a ambientes pobres, pudiendo en gran medida explicar su mayor eficiencia biológica de producción.

Actualmente se cuenta con ecuaciones de estimación de la energía requerida para el mantenimiento (NASEM 2016 y CSIRO 2007) que han sido generadas en condiciones ambientales distintas a las nuestras. A nivel país, la información sobre la energía para el mantenimiento de las vacas de cría en condiciones pastoriles es escasa, evidenciando la complejidad de su medición.

En función de estos antecedentes, el objetivo de este trabajo fue estudiar el consumo y partición de la energía, y analizar el efecto del grupo genético comparando vacas de cría puras (AA y HH) y cruzas F1 recíprocas (AH y HA). Interesa especialmente estimar y estudiar la energía de mantenimiento debido a la relevancia en la eficiencia energética del proceso productivo de carne.

En nuestro trabajo, el efecto genético sobre el peso vivo y el cambio de condición corporal de las vacas cruzas y puras no fue estadísticamente significativo durante los períodos de lactación y gestación. La condición corporal (CC) de las vacas cruzas fue estadísticamente superior en el período de lactación ($P=0,012$), sin embargo, no existieron diferencias estadísticas durante gestación. En relación, bibliografía nacional que trabajó con los mismos genotipos, si identificó PV y CC superiores estadísticamente ($P\leq 0,05$),

de vacas cruzas en comparación a las puras en gestación y lactación (Do Carmo et al. 2018, Casal et al. 2016, Casal et al. 2014).

Por otra parte, en este trabajo, las vacas se encontraban en días de lactación similares y su producción de leche y composición no fue estadísticamente distinta. Tampoco existieron diferencias en cuanto a días en gestación y peso al nacer de los terneros, como registraron también Gutierrez et al. (2012) (mismos genotipos que este trabajo). No obstante, estos últimos autores identificaron que las madres cruzas producían más litros de leche por día que las madres puras. Estas diferencias con la bibliografía previa pueden estar explicadas por varios factores. En primer lugar, son estudios realizados en distintos años y por ende afectados por diversas condiciones ambientales como temperatura, humedad y registros pluviométricos. Es por esto la necesidad de continuar con esta línea de investigación involucrando series de años para disminuir el efecto año. Considerando la variable producción de leche, su medición en este trabajo fue realizada en dos momentos específicos durante la lactancia y frente a los resultados obtenidos, se puede pensar que la medición de esta variable durante un todo el ciclo productivo resulta más apropiada para captar diferencias entre curvas productivas de distintos genotipos. Además, una variable interesante de incluir, presente en otros trabajos nacionales, es el peso al destete de los terneros. Esta es una variable que asiste en la evaluación de la habilidad maternal de las vacas de cría, reflejando no solo la producción de leche maternal, sino también la relación madre-ternero.

Estadísticamente el consumo de materia seca (%PV) estimado mediante la técnica de n-alcanos (CMO_1), fue menor por parte de las vacas cruzas ($P=0,039$) en comparación a las puras (Tabla N°5). Debe considerarse que las concentraciones del alcano C32 en nuestras muestras de forraje de lactación y gestación fueron mayores en comparación a la bibliografía consultada (Aguiar et al. 2013, Mayes et al. 1986, Savian et al. 2018). Esto último puede estar afectando los resultados obtenidos ya que la fórmula utilizada (Mayes et al., 1986) corrige por la concentración de C32 en el forraje. Este trabajo fue

uno de los primeros a nivel nacional en utilizar la técnica de n-alcanos para estimar el consumo y el protocolo no incluía las actuales precauciones para evitar la contaminación de las muestras de campo natural con C32 presente en las dosificaciones de los animales. Igualmente, las estimaciones de CMO_1 fueron coherentes a las publicadas por Da Trindade et al. (2015), quienes en campo natural (bioma pampa) con 500 a 2000 kg MS/ha, de forraje disponible registraron consumos menores a 1,8 y de hasta 3% PV trabajando con vaquillonas Angus-Hereford y Nelore (196 ± 4 kg promedio).

Se pudieron comparar estos resultados con las estimaciones de consumo mediante las ecuaciones de predicción desarrolladas por CSIRO (2007), (CMO_2), y NASEM (2016), (CMO_3). Las estimaciones de CMO_3 fueron superiores numéricamente a CMO_1 siendo $2,27 \pm 0,08$ y $2,40 \pm 0,08$ %PV ($P=0,013$) para cruza y puras respectivamente. El CMO_2 fueron numéricamente más similares a los consumos estimados con la técnica de n-alcanos siendo $1,41 \pm 0,16$ y $1,61 \pm 0,15$ %PV ($P=0,063$) para cruza y puras respectivamente. Las ecuaciones de estimación requirieron la utilización de valores de referencia registrados en la bibliografía, como por ejemplo el porcentaje de leguminosas en el forraje ofrecido (Anexo N°3). Además, para realizar las estimaciones de consumo según CSIRO⁽¹³⁾ no se identificaron las distintas estaciones de pastoreo en el forraje ofrecido, como sugieren los autores. Esto puede estar afectando los resultados estimados con estas metodologías. Igualmente, los resultados obtenidos con los tres procedimientos de estimación son coherentes en indicar un menor consumo (a nivel poblacional o de ensayo) por parte de las vacas cruza.

La energía metabolizable consumida ($\text{kJ/kg PV}^{0,75}$) (Tabla N°6) se estimó a partir de las estimaciones de CMO_1 y también fue menor por parte de las vacas cruza que puras, siendo $700,35 \pm 74,98$ vs $835,44 \pm 65,37$ $\text{kJ/kg PV}^{0,75}/\text{d}$ ($P=0,036$) respectivamente. Se utilizó un mismo valor de EM del forraje para todas las vacas que estaban pastoreando en un mismo potrero, lo que genera la debilidad de no poder conocer la selectividad individual

realizada. Esto afecta directamente las estimaciones de CEM y por consiguiente el análisis entre los genotipos. Se considera imperante seguir desarrollando e investigando este aspecto que es primordial para el entendimiento de los sistemas pastoriles.

Como fue explicado anteriormente la concentración energética se estimó a partir de la ecuación de predicción desarrollada por CSIRO (2007) y adicionalmente se estimó a partir de las ecuaciones generadas por Reid et al. (1991) (resultados se encuentran en Anexo N°6). Sin embargo, estas últimas no fueron utilizadas porque se decidió priorizar la uniformidad en las herramientas y metodologías de predicción utilizadas y por ende se consideraron los resultados obtenidos con la ecuación desarrollada por CSIRO (2007).

La energía retenida total (Tabla N°6) que considera la energía retenida en los tejidos corporales y retenida en leche o en gestación, no fue estadísticamente distinta entre vacas cruzas y puras en este trabajo. Estas diferencias con la bibliografía pueden estar explicadas por múltiples factores, como condiciones ambientales (temperatura, registros pluviométricos, entre otras, ya que implicaron años de trabajo de campo distintos), como también factores asociados al manejo (oferta de forraje real, altura y estructura del forraje, entre otras).

Por lo tanto, las vacas cruzas consumieron menos energía (kJ/kg $PV^{0,75}/d$) pero retuvieron la misma energía (en tejidos corporales y en leche o gestación), lo que resultó a partir del balance energético en términos de energía metabolizable (Tabla N°6), en menor energía metabolizable requerida para el mantenimiento (EM_{M1}) por parte de las vacas cruzas en comparación a las puras, siendo $550,58 \pm 105,35$ vs $676,07 \pm 99,93$ kJ/kg $PV^{0,75}$ ($P=0,032$) respectivamente. La energía estimada mediante las ecuaciones desarrolladas en NASEM (2016) no fue estadísticamente distinta entre los genotipos y los resultados fueron, $535,62 \pm 11,58$ y $525,87 \pm 9,25$ kJ/kg $PV^{0,75}$ para cruzas y puras respectivamente. Contemplando el carácter pastoril del sistema en estudio se optó por estudiar el requerimiento de energía metabolizable

asociado a la actividad de pastoreo según las ecuaciones de NASEM (2016). El mismo no fue estadísticamente distinto entre cruza y puras, $118,75 \pm 13,04$ y $112,14 \pm 12,83$ kJ/kg $PV^{0,75}$ respectivamente, representando el 22 y 21% de cada correspondiente EM_{M2} . En NASEM (2016) los autores explican que más trabajo es necesario realizar sobre estas ecuaciones de predicción ya que pueden sobreestimar la energía requerida de vacas que se encuentran adaptadas al pastoreo. Bibliografía nacional (Jasinsky, 2019) registra un aumento del 10% aproximadamente de los requerimientos de energía para el mantenimiento al incluir el pastoreo a vacas lecheras que solamente recibían una dieta conformada por ración (no pastoreaban). Por esta razón, es necesario continuar generando información nacional sobre esta variable en vacas para la producción de carne.

Por otra parte, se estimó la energía requerida para el mantenimiento a partir de la regresión de la PTC (\log_{10}) en función de CEM, EM_{M3} (Tabla N°7). En primer lugar, considerando todos los registros recabados durante el ensayo (sin discriminar entre genotipos), la EM_{M3} fue 530 kJ/kg $PV^{0,75}/d$ y la energía neta para el metabolismo basal EN_{metB} fue de 306 kJ/kg $PV^{0,75}/d$ (intercepto). En relación, Carriquiry (2018) trabajando también con vacas puras y cruza (AA, HH y HA, AH) que pastoreaban en campo natural en la misma estación experimental (EEBR – Facultad De Agronomía), estimó que la energía metabolizable requerida para el mantenimiento fue de 567 kJ/kg $PV^{0,75}/d$ sin discriminar entre genotipos. Además, la energía neta para metabolismo basal que estimó fue de 323 kJ/kg $PV^{0,75}/d$ para un grupo de vacas que se encontraban en balance energético positivo y 173 kJ/kg $PV^{0,75}/d$ para otro grupo de vacas que estaban presentando un balance energético negativo. En segundo lugar, las curvas de regresión obtenidas considerando las vacas cruza y puras independientemente de este estudio, no fueron estadísticamente distintas, siendo la EM_{M3} 453 y 561 kJ/kg $PV^{0,75}/d$ respectivamente.

Los requerimientos energéticos para mantenimiento obtenidos a partir de las tres metodologías utilizadas se encuentran aproximadamente dentro

del rango registrado por Cottrill et al. (2009) para vacas de origen británico, como Angus, Hereford y cruza recíprocas, en distintos estados fisiológicos (440 a 607 kJ/kg PV^{0,75}/d como valor mínimo y máximo registrados respectivamente).

Sería interesante poder estimar la heterosis expresada en los requerimientos energéticos para el mantenimiento, sin embargo, se consideró que el número de animales involucrados es insuficiente para realizar estas estimaciones. Para cumplir este objetivo es necesario seguir desarrollando estudios sobre los requerimientos de mantenimiento de las vacas de cría y resulta interesante continuar apostando a la aplicación de la técnica de pulso de oxígeno desarrollada por Brosh et al. (1998), basada en el registro del consumo de oxígeno y tasa cardiaca. Esta técnica estuvo diseñada para condiciones pastoriles como las nacionales y permite concentrar los recursos limitados (tiempo y económicos) en las mediciones de la PTC y CEM, pudiendo obtener más registros por cada variable.

Los menores requerimientos energéticos para el mantenimiento de las vacas cruza (a nivel poblacional, EM_{M1} y de ensaño, EM_{M3}) son acordes a la bibliografía nacional e internacional que evidencia mayor eficiencia productiva por parte de estas en comparación a las vacas de cría puras (AA y HH) (Do Carmo et al. 2018, Pereyra et al. 2015, Espasandin et al. 2013, Espasandin et al. 2006, Morris et al. 1987). Además, concuerda con Casal et al. (2014) y Casal et al. (2016) que trabajando también con dos ofertas de forraje (alta y baja) y mismos genotipos, sugirieron que las vacas cruza en comparación a las puras tienen mayor plasticidad para adaptarse a ambientes pobres, asociado a un menor ($P=0,1$) peso relativo del complejo del estómago y omaso en vacas, siendo estas diferencias más notorias en baja oferta de forraje.

Este trabajo expone múltiples detalles y aprendizajes de las dificultades encontradas y consideraciones sobre diferentes técnicas y metodologías para estimar variables claves en el entendimiento del sistema productivo de cría en Uruguay. Se considera pertinente seguir generando información respecto al

consumo y la partición de la energía de las vacas puras AA y HH y cruzas recíprocas F1 HA y AH, ya que son los genotipos que más presencia tienen en los sistemas de cría nacional. De esta forma, seguir contribuyendo a la identificación de los genotipos más eficientes y al aumento de los resultados económico-productivos de los sistemas de cría en armonía con el ambiente.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar ADS, Forbes TDA, Rouquette FM Jr, Tedeschi LO. 2013. Evaluating the Statistical Variation in Estimating Forage Dry Matter Intake of Grazing Brahman Bulls Using n-alkanes. *Journal of Agricultural Science*, 151: 129-140.
- Bailey D, Gross J, Laca E, Rittenhouse L, Coughenour M, Swift D, Sims P. 1996. Mechanisms that Result in Large Herbivore Grazing Distribution Patterns. *Journal of Range Management*, 49: 386-400.
- Berretta EJ. 1996. Campo natural: valor nutritivo y manejo. In: Risso DF, Berretta EJ, Morón A. (Eds.) *Producción y Manejo de Pasturas*. Serie Técnica 80, INIA, Montevideo, pp. 113–127.
- Brosh A, Henkin Z, Ungar ED, Dolev A, Shabtay A, Orlov A, Yehuda Y, Aharoni Y. 2010. Energy Cost of Activities and Locomotion of Grazing Cows: A Repeated Study in Larger Plots. *Journal of Animal Science* (88) 315–323.
- Brosh A. 2007. Heart Rate Measurements as an Index of Energy Expenditure and Energy Balance in Ruminants: A Review. *Journal of Animal Science*, 85: 1213-1227.
- Brosh A, Henkin Z, Orlov A, Aharoni Y. 2006. Diet Composition and Energy Balance of Cows Grazing on Mediterranean Woodland. *Livestock Science* (102): 11-22.
- Brosh A, Aharoni Y, Shargal E, Sharir B, Gutman M, Choshniak I. 2004. Energy Balance of Grazing Beef Cattle in Mediterranean Pasture, the Effects of Stocking Rate and Season. 2. Energy Expenditure as Estimated from Heart Rate and Oxygen Consumption, and Energy Balance. *Livestock Production Science*, 90: 101- 115.

- Brosh A, Aharoni Y, Degen AA, Wright D, Young B. 1998. Estimation of Energy Expenditure from Heart Rate Measurements in Cattle Maintained Under Different Conditions. *Journal of Animal Science*, 76: 3054 - 3064.
- Carámbula M. 2002. Pasturas y Forrajes: Potenciales y alternativas para producir forraje. Tomo I. Montevideo: Hemisferio Sur SRL. 357p.
- Carrquiry M. 2018. Uso de la energía en vacas de cría en campo natural. Jornada de Cría Vacuna – INIA Tacuarembó.
- Carrquiry M, Espasandin AC, Astessiano AL, Casal A, Claramunt M, Do Carmo M, Genro C, Gutierrez V, Laporta J, López-Mazz C, Meikle A, Olmos F, Perez-Clariget R, Scarlato S, Trujillo AI, Viñoles C, Soca P. 2012. La cría vacuna sobre campo nativo: un enfoque de investigación jerárquico para mejorar su productividad y sostenibilidad. *Veterinaria*. 48 (1): 41-48.
- Casal A, Astessiano AL, Espasandin AC, Trujillo AI, Soca P, Carrquiry M. 2016. Changes in Body Composition During the Winter Gestation Period in Mature Beef Cows Grazing Different Herbage Allowances of Native Grasslands. *Animal Production Science*, 57(3) 520-529.
- Casal A, Veyga M, Astessiano AL, Espasandin AC, Trujillo AI, Soca P, Carrquiry M. 2014. Visceral Organ Mass, Cellularity Indexes and Expresión of Genes Encoding for Mitochondrial Respiratory Chain Proteins in Pure and Crossbred Mature Beef Cows Grazing Different Forage Allowances of Native Pastures. *Livestock Science*, 167: 195 -205.
- Church CD. 1993. El rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia S.A.: Zaragoza. 641p.

- Cottrill B, Dawson L, Yan T, Xue B. 2009. A Review of the Energy, Protein and Phosphorus Requirements of Beef Cattle and Sheep. Defra Project WQ 0133. 87 p.
- CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. Melbourne: CSIRO publishing. 270 p.
- Da Trindade JK, Neves FP, Pinto CE, Bremm C, Mezzalira JC, Nadin LB, Genro TCM, Gonda HL, Carvalho PCF. 2015. Daily Forage Intake by Cattle on Natural Grassland: Response to Forage Allowance and Sward Structure. *Rangel and Ecology & Management*.
- Do Carmo M, Sollenberg LE, Carriquiry M, Soca P. 2018. Controlling Herbage Allowance and Selection of Cow Genotype Improve Cow-Calf Productivity in Campos Grasslands. *The Professional Animal Scientist*, 34: 32 – 41.
- Espasandin AC, Do Carmo M, López-Mazz C, Cal V, Cáceres O, Bentancur D, Carriquiry M, Soca P. 2013. Modificaciones en la oferta de forraje de campo natural y del grupo genético de vacas en busca de eficiencia en la cría vacuna. En: Soca P, Espasandin AC, Carriquiry M. S. Montevideo; Hemisferio Sur SRL. INIA Serie FPTA nº 48, 55-64.
- Espasandin AC, Franco J, Oliveira G, Bentancur O, Gimeno D, Pereyra F, Rogberg M. 2006. Impacto productivo y económico del uso del cruzamiento entre las razas Hereford y Angus en el Uruguay. En: XXXIV Jornadas Uruguayas de Buiatría (34º, 2006, Paysandú, Uruguay), 41-51.
- Ferrell CL, Jenkins, TG. 1985. Cow Type and the Nutritional Environment: Nutritional Aspects. *Journal of Animal Science*, 61 (3):725- 741.

- Ferrell CL, Jenkins, TG. 1982. Efficiency of Cows of Different Size and Milk Production Potential. USDA, ARS, Germplasm Evaluation Program Progress Report no. 10. Meat Animal Research Center, Clay Center, Nebraska, USA. 12 – 24 p.
- Forbes TDA. 1988. Researching the Plant Animal Interface: The Investigation of Ingestive Behaviour in Grazing Animals. *Journal Animal Science*, 66: 2369-2379.
- Gutierrez V, Espasandin AC, Astessiano AL, Casal A, López-Mazz C, Carriquiry M. 2012. Calf Faetal and Early Life Nutrition on Grazing Conditions: Metabolic and Endocrine Profiles and Body Composition During the Growing Phase. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1- 12.
- Hotovy SK, Johnson KA, Johnson DE, Carstens GE, Bourdon RM, Seidel GE. 1991. Variation Among Twin Beef Cattle in Maintenance Energy Requirements. *Journal of Animal Science*, 69: 940-946.
- Jasinsky AS. 2019. Gasto energético de vacas Holando con y sin inclusión de pastura en la dieta. Tesis Magister en Ciencias Agrarias Op. Ciencias Animales. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, UdelaR. 89 p.
- Jenkins TY, Ferrell C. 1994. Productivity Though Weaning of Nine Breed Of Cattle Under Varying Feed Availabilities: I. Initial Evaluation. *Journal of Animal Science*, 72: 2787-2797.
- Lema M, Ciappesoni G, Espasandin AC, Gimeno D. 2015. Cruzamientos en bovinos para carne para sistemas criadores. *Revista INIA N°43* : 23 - 28.
- Lema OM, Gimeno D, Dionello NJL, Navajas EA. 2011. Pre-Weaning Performance of Hereford, Angus, Salers and Nellore Crossbred

Calves: Individual and Maternal Additive and Non-Additive Effects. *Livestock Science*. 142: 288 – 297.

Mayes RW, Lamb CS, Colgrove PM. 1986. The Use of Dosed and Herbage N-Alkanes as Marker for the Determination of Herbage Intake. *Journal of Agricultural Science*, 107: 161-170.

McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. 1995. *Nutrición Animal*. Zaragoza: Editorial Acribia S.A. 576 p.

MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2018. Anuario Estadístico. (en línea). Consultado en 20 nov. 2018. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politica-agropecuaria/estadisticas-y-documentos/29-08>

MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2011. Censo General Agropecuario. (en línea). Consultado en 10 de nov. 2018. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/censo2011.pdf>

MGAP. OPYPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Políticas Agropecuarias, UY). 2018. Resultados de la encuesta ganadera nacional 2016. Montevideo, Uruguay. 60 p.

Montaño-Bermudez M, Nielsen MK, Deustcher GH. 1990. Energy Requirements for Maintenance of Crossbred Beef Cattle with Different Genetic Potential for Milk. *Journal of Animal Science*, 68: 2279-2288.

Morris CA, Baker RL, Johnson DL, Carter AAH, Hunter, JC. 1987. Reciprocal Crossbreeding of Angus and Hereford Cattle: 3: Cow

Weight, Reproduction, Maternal Performance and Lifetime Production. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 30:453-467.

NASEM (National Academies of Science, Engineering, and Medicine). 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Octava edición revisada. Washington D.C.: National Academy Press. 475 p

NRC (National Research Council). 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7 ed. Washington D.C.: National Academy Press. 232 p.

Oxford EL, Brown AHJr, Johnson ZB, Tabler GT, Kutz BR. 2009. Prewaning Performance, Heterosis, and Direct and Maternal Breed Effects in Angus, Hereford, Red Poll, Santa Gertrudis, and Reciprocal-Cross Calves. *The Professional Animal Science*. 25: 529-535.

Pereyra F, Urioste JI, Diego G, Peñagaricano F, Dorrel B, Espasandín AC. 2015. Parámetros genéticos en la etapa de cría para el cruzamiento entre Hereford y Angus en campo natural. *Agrociencia Uruguay*, 19 (1): 140-149.

Reid CR, Bailey CM, Judkins MB. 1991. Metabolizable Energy for Maintenance of Beef-Type *Bos taurus* and *Bos indicus* x *Bos taurus* Cows in A Dry, Temperate Climate. *Journal of Animal Science*. 69.7: 2779-2786

Reis SF, Huntington G, Hopkins M, Whisnant S, Paulino PVR. 2015. Herbage Selection, Intake and Digestibility in Grazing Beef Cattle. *Livestock Science*. 174: 39 – 45.

Rovira J. 1996. *Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo*. Montevideo: Hemisferio Sur SRL. 288 p.

- Savian JV, Genro TCM, Barth Neto A, Bremm C, Azevedo EB, David DB, Gonda HL, Carvalho PCF. 2018. Comparison of Faecal Crude Protein and n-alkanes Techniques to Estimate Herbage Intake by Grazing Sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 242: 144-149.
- Soca P. 2013. Aportes de la investigación realizada a la toma de decisiones en sistemas ganaderos y a la discusión sobre el futuro del campo natural. En: Soca P, Espasandin A, Carriquiriy M. Montevideo: Hemisferio Sur SRL. INIA, Serie FPTA nº 48, 81-86.
- Tommasino H, Cortelezzi A, Mondelli M, Bervejillo J, Carrazzone S. 2014. Tipología de productores agropecuarios: caracterización a partir del Censo Agropecuario 2011. En: Anuario 2014. OPYPA. Montevideo, 491-508.
- Undi M, Wilson C, Ominski KH, Wittenberg KM. 2008. Comparison of Techniques for Estimation of Forage Dry Matter Intake by Grazing Beef Cattle. *Can.J.Anim.Sci.*88:693–701.

5. ANEXOS

ANEXO N°1: ESTIMACIÓN DE DIGESTIBILIDAD DEL CAMPO NATURAL

Mediante el análisis de digestibilidad según el método de Van Soest se obtienen dos residuos principales: Fibra detergente neutro (FDN) cuando el tratamiento es la solución de sulfato lauril sódico a pH neutro y fibra detergente ácido (FDA) cuando la solución empleada es el bromuro de cetil trimetil amonio en pH ácido. FDN es la porción de la muestra de alimento que es insoluble en un detergente neutro. FDA es la porción de la muestra de alimento que es insoluble en detergente ácido.

ANEXO N°2: FECHAS DE MEDICIÓN

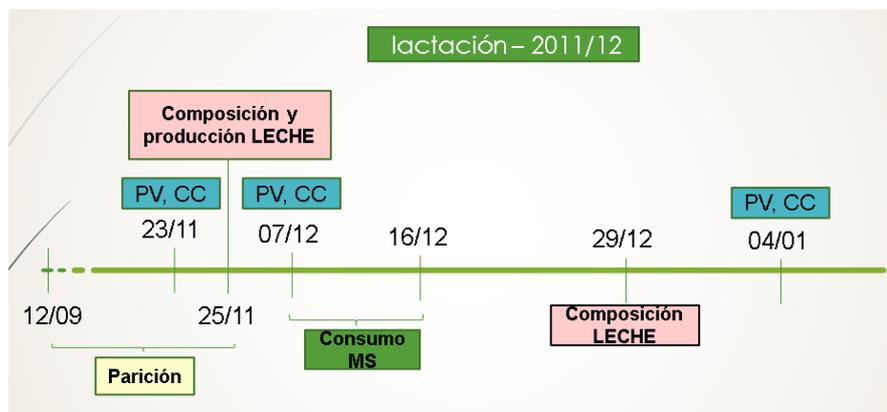
Fechas de medición de consumo:

Lactación: 7 al 16 de diciembre 2011. Dosificación comenzó el 7, muestras tomadas a partir del 12 de diciembre.

Gestación: 13 al 22 de junio 2012. Dosificación comenzó el 13, muestras tomadas a partir del 18 de junio.

Fechas de medición de PV y CC

- Lactación: 23/11, 7/12/2011 y 4/1/2012
- Gestación: 2/5, 30/5, 2/7, 2/8/2012





Los registros de PV durante gestación se corrigieron por el peso fresco del útero (UT fresco) y del peso del feto fresco (FTfresco) corregidos por el peso al nacer del ternero según Ferrell et al. (1976)¹, siendo “PN” peso al nacer del ternero y “dp” días al parto:

- $UT\ FRESCO = (743.9 * (EXP((0.02 - 0.0000143 * dp) * dp))) / 1000$
- $UT\ fresco\ corregido = utfresco * (PN / 45)$
- $FTfresco = (5.839 * (EXP((0.0512 - 0.0000707 * dp) * dp))) / 1000$
- $FTfresco\ corregido = FTfresco * (PN / 45)$

¹Ferrell CL, Garrett WN, Hinman N. 1976. Growth, Development, And Composition of The Udder and Gravid Uterus of Beef Heifers During Pregnancy. Journal of Animal Science 42, 1477-1489

ANEXO N°3: ESTIMACIÓN DE CONSUMO MS POR DÍA USANDO
ECUACIONES DE PREDICCIÓN - CSIRO (2007)² y NASEM (2016)³

CSIRO (2007)²

CMO posible (kg MS/d) = CMO potencial (kg MS/ d)*
Disponibilidad*Digestibilidad

Consumo potencial en animales no lactantes (I):

$$I \text{ (kg MS/ d)} = j A Z (1.7 - Z)$$

Siendo:

j: constante 0.024 para vacunos

A: peso estándar de referencia (SRW)

Z: peso relativo = N/A

N: peso normal = $A - (A-B)\exp^{-kt}$

A: peso maduro;

B: peso nacimiento;

t: edad del animal en meses;

k: constante $0,47/A^{0,27}$

Consideraciones:

A: peso estándar de referencia (SRW) que corresponde al peso del animal cuando alcanza el tamaño esquelético maduro, presentando una condición corporal promedio en la escala de condición corporal. Se utilizó el valor de referencia proporcionado por CSIRO (2007) para vacas Hereford y Angus SRW = 500 kg.

B: peso al nacimiento. Se consideró 37.80 kg (Dañobeytia et al., 2015)⁴

t: edad del animal en meses (60 meses todas las vacas a excepción de una vaca que en el 2011 se encontraba en segundo entore, pariendo con 36 meses de edad).

² CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization). Nutrient requirements of domesticated ruminants. Melbourne: CSIRO publishing; 2007. 270 p.

³ NASEM (National Academies of Science, Engineering, and Medicine). Nutrient Requirements of Beef Cattle. Octava edición revisada. Washington D.C.: National Academy Press; 2016. 475 p.

⁴ Dañobeytia I, Niell F, Rossi G. 2015. Curvas de crecimiento en terneros Hereford, A. Angus y cruza, desde el nacimiento hasta los seis meses de edad. Tesis Ing. Agr. Montevideo Facultad de Agronomía. UdelaR. 45p.

Consumo potencial en animales lactantes (I)

$$I \text{ (kg MS/ d)} = j A Z (1.7 - Z) m$$

$$m = 1.0 + (a * M)^b * \text{EXP}(b(1-M)) * L * D$$

Siendo:

$$M = T/c$$

T = día de lactación

C = día de ingesta potencial máxima, c=62

L = 0.5 + 0.5 * CC a la parición

D = relación entre la producción de leche actual y su potencial

$$A = 0.42$$

$$B = 1.7$$

CC a la parición: para poder estimar el consumo con esta función convertimos nuestros registros de CC a la parición, correspondientes a la escala de apreciación visual de Vizcarra et al., (1986)⁵ que comprende de 1 a 8, a la escala de condición corporal australiana (1-5). Para ello se consideró las similitudes en los resultados productivos y su correspondiente categoría en cada escala. Teniendo como referencia la escala australiana, la bibliografía recomienda una CC al parto de 3 mínimo para asegurar 1 ternero por año, alcanzando el porcentaje de preñez objetivo del sistema productivo (Future Beef 2011, Department of Primary Industries and Regional Development 2017)^{6,7}. Paralelamente, no se han identificado beneficios significativos en el porcentaje de preñez en vacas de CC superior a 4 al parto según la escala de Vizcarra et al. (1986)³ explica Orcasberro et al. (1992)⁸.

D: relación entre la producción de leche actual (medida al 25 de noviembre) y la potencial. El valor del potencial de producción de leche para vacas multíparas de razas Hereford, Aberdeen Angus y Cruza F1 (AA x HH y HH x AA) en pastoreo de campo natural, son tomados de la bibliografía.

- HH: 5,25 kg/d –Omar et al. (1977)⁹
- AA: 7 kg/d – Gairne, (1979)¹⁰ y Omar et al. (1977)⁹
- F1 (AA x HH y HH x AA): 7 kg/d - Quintans et al. (2015)¹¹

$$\text{Disponibilidad} = [1 - \text{EXP}(-a * H)] * [1 + b * \text{EXP}(-k * H^2)]$$

H = forraje disponible (kg ms/ha) / 1000 – Se utilizaron los registros de forraje disponible del experimento.

$$\left. \begin{array}{l} a = 0,8 \\ k = 0,5 \\ b = 0.6 \end{array} \right\} \text{ constantes}$$

$$\text{Digestibilidad} = 1,0 - a(0,8 - \text{Dig.}) + 0,17g$$

Dig: digestibilidad de la MS del forraje

a: constante valor 1 (campo natural)

g: proporción de leguminosas: 0,03 (Berretta, 1998)¹².

Consideraciones:

Digestibilidad del forraje: a partir de las mediciones realizadas del campo natural en cada parcela (AP, ACR, BP, BCR en cada bloque) para cada momento fisiológico (explicado en Anexo N°1).

g: Berretta (1998)¹² registra un porcentaje de 0.8 a 3,6% de leguminosas en campos naturales.

Cabe mencionar que no fue posible identificar las diferentes estaciones de pastoreo en la pastura ofrecida según lo recomendado por CSIRO (2007)². La estimación mediante estas ecuaciones fue una adición posterior al desarrollo del trabajo y por ello no se pudo recabar la información necesaria para identificar distintas estaciones de pastoreo en la pastura ofrecida, con su correspondiente digestibilidad y peso por ha, entre otra información necesaria. Esto evidentemente afecta la estimación y se tendrá en consideración en futuros trabajos.

⁵Vizcarra Ja, Ibañez W, Orcasberro R. 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal en vacas Hereford. Investigaciones Agronómicas. 7: 45-47

⁶ Future Beef. 2011. Managing cow reproductive: an overview. (en línea). Consultado en agosto 2020. Disponible en: <https://futurebeef.com.au/knowledge-centre/managing-cow-reproduction-an-overview/>

⁷ Department of Primary Industries and Regional Development. 2017. Managing the beef breeder herd in southern Western Australia. (en línea). Consultado agosto 2020. Disponible en: <https://www.agric.wa.gov.au/management-reproduction/managing-breeder-herd-southern-western-australia?nopaging=1>

⁸Orcasberro R, Soca P, Beretta V, Trujillo AI, Franco J, Apezteguía E, Bentancour O.1992. Características de la pastura y estado corporal del rodeo de cría en pastoreo de campo natural En: Evaluación Física y Económica de Alternativas Tecnológicas en Predios Ganaderos. Estación Experimental M. A. Cassinoni. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

⁹Omar MA, Frahm RR, Mizell RH, Cobb AB. 1977. A Comparison of Milk Production in Angus and Hereford Cattle Under Range Conditions. Animal Science Research Report. 17-22p.

¹⁰Gairnie AG. 1979. Producción láctea de vacas Aberdeen Angus en pastura natural y en pasto llorón. Revista de Investigaciones Agropecuarias - INTA. Serie 1, Biología y Producción Animal. Volumen 14: 2: 45 – 66p.

¹¹Quintans G, Scarsi A, Roig G, Carriquiry M, Bancharo G. 2015. Influence of a Short-Term Prepartum Supplementation on Beef Cows and Calves' Performance in Pastoral Conditions. Animal Production Science. CSIRO Publishing.

¹²Berretta EJ. 1998. XIV Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramientos y Utilización de los Recursos Forrajeros: Grupo Campo. INIA Tacuarembó. Serie Técnica 94, 253 p.

CONSUMO - NASEM (2016)³

$$\text{CMO (kg MS/d)} = \text{DMI}' \times \text{GRAZE} + (0.2 * \text{Yn})$$

DMI':

- $\text{SBW}^{0.75} \times (0,04631 + 0,04997 \times \text{NEma}^2) / \text{NEma}'$ - $\text{DP} \leq 93$
- $\text{SBW}^{0.75} \times (0,0384 + 0,04997 \times \text{NEma}^2) / \text{NEma}'$ - $\text{DP} > 93$

Siendo:

SBW: peso sin considerar la última comida - $\text{SBW} = \text{BW} * 0,96$ (NASEM, 2016)³. El peso vivo utilizado es el promedio del período correspondiente (lactación o gestación) debido a la variación de esta variable. Lactación considera medidas de las fechas: 23/11, 7/12/2011 y 4/1/2012. Gestación considera medidas de las fechas: 02/5, 30/5, 02/7 y 02/8/2012.

DP- días en gestación

NEma': variable auxiliar para la concentración de energía neta de la dieta disponible para el mantenimiento (Mcal/kg)

- 0,95 - $\text{NEma} < 1$
- NEma - $\text{NEma} \geq 1$

$$\text{NEma} = 1.37 * [\text{ME}]_j - 0.138 * [\text{ME}]_j^2 + 0.0105 * [\text{ME}]_j^3 - 1.12 \text{ (NASEM 2016)}$$

[ME]_j: concentración de energía metabolizable del jth alimento (Mcal/kg), utilizando la estimación a partir de fórmula de Reid et al., (1991)¹³ explicado más adelante en Anexo N°6.

Yn: producción de leche (kg/d).

GRAZE: factor de corrección por forraje disponible

- Graze = 1, cuando FM (forraje disponible kg MS/ha) > 1150
- $\text{Graze} = (0,17 \times \text{FM} - 0,000764 \times \text{FM}^2 + 2,4) / 100$, cuando FM > 0

Se consideraron los registros de forraje disponible (kg MS/ha) recabados en el experimento.

¹³Reid CR, Bailey CM, Judkins MB. 1991. Metabolizable Energy for Maintenance of Beef-Type Bos taurus and Bos indicus x Bos taurus Cows in A Dry, Temperate Climate. Journal of Animal Science. 69.7: 2779-2786

ANEXO N° 4: ESTIMACIONES DE ENERGÍA RETENIDA

Se presenta a continuación las fórmulas utilizadas para la estimación de la energía retenida en leche, en tejidos corporales y la requerida para la gestación.

ENERGÍA RETENIDA EN LECHE

La energía neta retenida en leche (NRC, 2001)¹⁴:

$$\text{ER-leche (Mcal/kg)} = (0,0929 * \% \text{ Grasa}) + (0,0547 * \% \text{ Proteína Cruda}) + (0,0395 * \% \text{ Lactosa})$$

Donde

- %Grasa, Proteína, Lactosa: es el porcentaje de estas en la leche obtenidos a partir del análisis de la composición de leche de muestras generadas el 25/11 y 29/12/2011.
- Este cálculo de ER-leche (Mcal/kg) se multiplica por los kg de leche producidos en 24 horas calculados a partir de la muestra realizada con ordeñadora portátil el 25/11 según lo explicado por Espasandin et al. (2016)¹⁵.

La eficiencia en el uso de EM para lactación y para mantenimiento en vacas para carne es similar (NASEM,2016)³. La ER-leche se expresa en términos de energía metabolizable (EM-L) según NASEM (2016)³:

$$\text{EM-Leche (Mcal/d)} = \text{ER-leche/km}$$

Donde:

- $Km = (1,37 EM_{CN} - 0,138 EM_{CN}^2 + 0,0105 EM_{CN}^3 - 1,12) / EM_{CN}$ (NASEM, 2016)³
- $EM_{CN} (\text{Mcal EM/kg MS}) = (0,17 * \text{Digestibilidad MS-2}) / 4,18$ (CSIRO, 2007)² a partir de la digestibilidad medida en el campo natural en cada parcela (AP, ACR, BP, BCR en cada bloque).

Transformación de unidades: Mcal a MJ multiplicando valores por 4,184 (equivalencia correspondiente) y por 1000 para expresarlo en kJ.

¹⁴NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Washington, D.C.: National Academy Press; 381 p.

¹⁵ Espasandin AC, Gutierrez V, Casal A, Graña A, Bentancur O, Carriquiry M. Modeling Lactation Curve in Primiparous Beef Cattle. J. Agric. Sci. 2016; 8 (4): 116-125

Posteriormente, ER-leche (kJ/d) y EM-Leche (kJ/d) se dividen por el peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$) promedio de cada momento. El peso vivo considerado en lactación fue el promedio del PV medido en 23/11, 07/12/2011 y 04/01/2012 y el PV para gestación es el promedio del PV medido en 02/05, 30/05, 02/07 y 02/08 corregidos por peso fresco del útero grávido y feto. Valores expresados como $kJ/kg PV^{0,75}$.

ENERGÍA RETENIDA PARA LA GESTACIÓN

ER-gestación: la energía neta para gestación, calculada a partir de la siguiente fórmula (NASEM, 2016)³:

- **ER-Gestación (Mcal/d) = $[(CBW*(0,05855-0,0000996*dp)*e(0,03233*dp-0,0000275*dp^2)]/1000$**

Donde:

CBW: Peso del ternero al nacer

Dp: día en gestación. En este trabajo se utilizó el día en gestación para cada vaca a la fecha 17/06/2012 ya que fue la fecha promedio del momento fisiológico gestación. Este comprendió desde el 02/05/2012 hasta el 02/08/2012. Por tanto, a esta fecha existía un rango de días en gestación, comprendido desde 130 hasta 167 días en gestación para las distintas vacas.

Para expresar ER-gestación como energía metabolizable (EM-gestación) se procedió según (NASEM, 2016)³:

- **EM-gestación (Mcal/d) = ER-gestación/ky**
 - $ky=0,13$ (NASEM, 2016)³

Transformación de unidades: Mcal a MJ multiplicando valores por 4,184 (equivalencia correspondiente) y por 1000 para expresarlo en kJ.

Posteriormente, ER-gestación (kJ/d) y EM-gestación (kJ/d) se dividieron por el peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$) promedio de cada momento (explicado previamente). Valores expresados como $kJ/kg PV^{0,75}$.

ENERGÍA RETENIDA EN TEJIDOS CORPORALES PARA CADA MOMENTO FISIOLÓGICO

Para cada momento fisiológico estudiado se calculó la energía retenida en los tejidos corporales o liberada desde los mismos a partir del procedimiento descrito por NASEM (2016)³:

- a. $EBW=0,81696*BW$ ($EBW=0,851*SBW$)
- b. $SBW= BW*0,96$
- c. $WAF_{BCS}: 1-0,07105*(5-BCS)$
- d. $EBW_5 = EBW/WAF_{BCS}$

- e. $AF_{BCS}=0,037683*BCS$
- f. $AP_{BCS}=0,200886-0,0066762*BCS$

- g. $TFAT_{BCS}=AF_{BCS}*EBW_{BCS}$
- h. $TPROT_{BCS}=AP_{BCS}*EBW_{BCS}$
- i. Energía Neta Retenida en tejidos (ER-tejidos):
 $TE_{BCS}=9,4*TFAT_{BCS} + 5,7*TPROT_{BCS}$

Donde:

“EBW” peso vivo vacío real; “BW” peso vivo; “SBW” peso vivo descontando el peso de la orina; “WAF” factor de corrección del peso vivo dada una determinada condición corporal; “EBW₅” es el peso vivo vacío si el animal estuviese en condición corporal 5; “BCS” condición corporal; “AF_{BCS}” es la proporción de grasa dada una condición corporal determinada; “AP_{BCS}” es la proporción de proteína dada una condición corporal determinada; “TFAT_{BCS}” el contenido total de grasa del peso vivo vacío para una condición corporal dada; “TPROT_{BCS}” es el contenido total de proteína del peso vivo vacío para una condición corporal dada. Fue necesario transformar los registros de condición corporal (CC) utilizadas en Uruguay (según Vizcarra et al., (1986) a CC utilizada en NASEM (2016)³: a partir de una relación de regresión: $CC\ USA = 1.1351*CC + 0,0811$ (Com. Pers. Do Carmo, 2019).

Se consideró para su elaboración las similitudes en los resultados productivos y su correspondiente categoría en cada escala, no identificándose beneficios significativos en el porcentaje de preñez en vacas de CC superior a 4 al parto (Orcasberro et al., 1992)⁸ según la escala de Vizcarra et al. (1986)⁵ y en vacas de CC categoría 5 según escala americana (Richards et al., 1986)¹⁶.

¹⁶Richards MW, Spitzer JC, Warner MB. 1986. Effect of Varying Levels of Postpartum Nutrition and Body Condition at Calving on Subsequent Reproductive Performance in Beef Cattle. Journal of Animal Science. 62:300-306

Para saber si durante el período de estudio el animal se encontraba reteniendo o movilizandando energía se realiza la siguiente fórmula:

$$\text{ER-Tejidos}_{\text{final}} - \text{ER-tejidos}_{\text{inicial}} / n^{\circ} \text{días del período estudiado}$$

Expresar la ER-tejidos en términos de energía metabolizable – para utilizar en el balance energético se consideró lo siguiente: NASEM (2016)³ considera que la eficiencia con la que la vaca adulta retiene reservas energéticas es superior a la eficiencia para el crecimiento (kg). Siendo NEm-energía neta para el mantenimiento,

Particularmente considera:

- 1 Mcal NEm de la dieta – provee de 1 Mcal de ER-tejidos. Se retiene con la misma eficiencia de utilización para mantenimiento, mismo valor que el km.
- 1 Mcal ER-tejidos – provee 0.8 Mcal de NEm de la dieta.

Por lo tanto, cuando la ER-tejidos era positiva – fue directamente dividida por el valor de km. Cuando la ER-Tejidos era negativa – fue multiplicada por 0.8 y dividida por el valor de km.

Siendo $km = (1,37 \text{ EM}_{\text{CN}} - 0,138 \text{ EM}_{\text{CN}}^2 + 0,0105 \text{ EM}_{\text{CN}}^3 - 1,12) / \text{EM}_{\text{CN}}$ (descripta sección anterior)

Luego de un exhaustivo estudio de los valores de peso vivo medidos, se decidió considerar la condición corporal como fuente de información para estimar la energía retenida. El procedimiento fue el siguiente:

- CC final-CC inicial: diferencia. Esta diferencia fue transformada a cambio de peso vivo (kg) mediante la equivalencia de 1 unidad de CC aproximadamente equivale a 25 kg (Orcasberro et al., 1992)⁸
 - Lactación: CC inicial (promedio de CC medida en 23/11 y 7/12/2011) y CC final (4/1/2012)
 - Gestación: CC inicial (promedio de CC medida en 2/5 y 30/5/2012) y CC final (promedio de CC medida 2/7 y 2/8/2012)
- Considerando el PV promedio para cada momento fisiológico (explicado anteriormente) se calculó:

- PV promedio inicial= PV promedio del momento fisiológico- (cambio de PV/2)
- PV promedio final= PV promedio del momento fisiológico + (cambio de PV/2)
- Días entre momentos de medición:
 - Lactación:
 - fechas iniciales 23/11 y 7/12/2011. Fecha promedio inicial: 30/11.
 - Fecha final: 4/1
 - Días entre momento final-inicial considerado: 35
 - Gestación:
 - Fechas iniciales: 02/05 y 30/5/2012. Fecha promedio inicial: 16/05/2012
 - Fechas finales: 02/07 y 02/08/2012. Fecha promedio final: 17/07/2012
 - Días entre momento final e inicial: 62,5

Transformación de unidades: Mcal a MJ multiplicando valores por 4,184 (equivalencia correspondiente) y por 1000 para expresarlo en kJ.

Posteriormente, ER-tejidos (kJ/d) y EM-tejidos (kJ/d) se dividieron por el peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$) promedio de cada momento (explicado previamente). Valores expresados como $kJ/kg PV^{0,75}$.

ENERGÍA RETENIDA TOTAL PARA CADA MOMENTO FISIOLÓGICO:

- Lactación: energía retenida en leche y retenida en tejidos corporales.
- Gestación: energía retenida para la gestación y retenida en tejidos corporales.

La energía retenida total es utilizada en este trabajo en términos de energía metabolizable y energía neta.

ANEXO N°5: ESTIMACIÓN DE ENERGÍA PARA EL MANTENIMIENTO NASEM (2016)³

Estimación de energía neta para el mantenimiento (ENm):

$$ENm = SBW^{0,75} * (a1 * BE * L * Comp * Sex + a2)$$

Donde:

- a1: coeficiente de metabolismo basal (Mcal/kg^{0,75}/día)
- a2: factor de corrección por clima (no correspondiente en este trabajo)
- SBW = PV^{0,96}
- BE: factor racial: Aberdeen Angus and Hereford: 1
- Comp = 0,8 + (CC - 1) * 0,05 (corrección por plano nutricional anterior)
- L: factor de lactación (Angus: 1, Hereford: 1,2), para las cruza fue utilizado el promedio.
- Sex: efecto del sexo (vacas: 1)

El factor de corrección por clima no fue utilizado porque el lugar de estudio no está caracterizado por temperaturas que justifiquen su utilización (clima templado).

El peso vivo considerado en lactación fue el promedio del PV medido en 23/11, 07/12/2011 y 04/01/2012 y el PV para gestación es el promedio del PV medido en 02/05, 30/05, 02/07 y 02/08 corregidos por peso fresco útero grávido y feto.

En orden de expresar los requerimientos en términos de energía metabolizable se realizó la siguiente operación (NASEM, 2016)³: EM_M = ENm / km. El km fue calculado según NASEM, (2016)³ – explicado anteriormente.

Transformación de unidades: Mcal a MJ multiplicando valores por 4,184 (equivalencia correspondiente) y por 1000 para expresarlo en kJ.

Posteriormente, EM_M (kJ/d) se dividió por el peso vivo metabólico (PV^{0,75}) promedio de cada momento (explicado previamente). Valores expresados como kJ/kg PV^{0,75}.

-Estimación de energía asociada a la actividad de pastoreo (NASEM, 2016)³

NEm_{pa} : energía neta asociada a la actividad de pastoreo

- NEm_{pa} (Mcal/day): $[0.006 CMO \times (0.9 - D) + 0.05T/(GF+3)] \times BW / 4,184$

Donde:

- CMO: consumo de materia seca proveniente de la pastura (kg/d) - estimado a partir de ecuaciones NASEM (2016), previamente explicado.
- D: digestibilidad de la materia seca (decimal) – medido en este experimento, previamente explicado.
- T: pendiente del terreno (plano 1.0; ondulado 1.5; o montañoso 2.0)
- BW: peso vivo (kg)
- GF: disponibilidad de forraje verde (1000 kg/ha) – registros de este experimento.

El peso vivo, (al igual que en todas las variables previas), considerado en lactación fue el promedio del PV medido en 23/11, 07/12/2011 y 04/01/2012 y el PV para gestación es el promedio del PV medido en 02/05, 30/05,02/07 y 02/08 corregidos por peso fresco útero grávido y feto.

ANEXO N°6: ESTIMACIÓN ADICIONAL DE LA EM DEL CAMPO NATURAL

La EM del campo natural (MJ/kg MS) fue estimada también a modo comparativo mediante la fórmula presentada por Reid et al. (1991)¹³, presentada abajo para cada momento fisiológico según oferta de forraje.

Energía metabolizable (Mcal EM/kg MS) = $[-0.027 + 0.0428 \times (88.9 - 0.779 \times \text{fibra detergente ácido})] \times 0.82$.

Transformación de unidades: Mcal a MJ multiplicando valores por 4,184 (equivalencia correspondiente).

Energía metabolizable por kg de materia seca del forraje ofertado estimadas a partir de las ecuaciones de predicción desarrolladas por Reid et al. (1991)¹³ (EM_{CN_R}) según genotipo (GG) para cada momento fisiológico (promedio de potreros dentro de cada bloque)

Momento	GG	Bloque	EM_{CN_R} (MJ / kg MS)
Lactación	Cruzas	1	10,27
		2	10,37
	Puras	1	10,79
		2	10,39
Gestación	Cruzas	1	10,69
		2	11,19
	Puras	1	11,40
		2	11,19

Cabe recordar que se optó por utilizar las estimaciones alcanzadas con las ecuaciones de CSIRO (2007)² presentadas anteriormente en el cuerpo de este trabajo.