











Efecto de dos niveles de energía en la dieta durante el último tercio de gestación de vacas para carne sobre características de la placenta y la descendencia al nacimiento.

Carlos Batista¹   José Ignacio Velazco²   Fernando Baldi³   Georget Banchemo²  
Graciela Quintans³  

Effect of two energy levels in the diet during the last third of gestation of beef cows on characteristics of the placenta and offspring at birth.

Abstract. The objective of the present study was to evaluate two energy intake levels during the last third of gestation of beef cows, placental characteristics, ethological and morphometric variables of their female calves were evaluated. Thirty-one British multiparous cows, inseminated at fixed time and carrying females were assigned on Day -90 (Day 0=delivery) to two levels of energy intake until delivery: i- 125 % of the requirements (ALTA; n=15) and ii- 75 % of the requirements (BAJA; n=16). In the cows, live weight (PV), body condition score (CC), concentration of unesterified fatty acids (AGNE) and insulin were recorded. Placenta (weight, number of cotyledons and placental efficiency) was characterized and morphometric and behavioural measures were evaluated within the first 24 hours of calf life. At calving, BAJA cows had a higher concentration of AGNE (0.45 ± 0.03 vs 0.27 ± 0.03 mmol/L, $P < 0.01$) and lower insulin (8.83 ± 0.73 vs 10.88 ± 0.71 μ IU/mL, $P < 0.03$), as well as lower PV (478 ± 15.4 vs 521 ± 11.8 kg, $P < 0.01$) and CC (3.9 ± 0.08 vs 4.5 ± 0.06 u; $P < 0.01$) compared to ALTA cows. The characteristics evaluated in the placentas were not affected by treatments, nor was the PV of the calves at birth. In the same way, none of the morphometric or behavioural variables were significantly affected by the treatments. In the present experiment, the undernourished cows mobilized body reserve during the last third of gestation to protect the integrity of their offspring; this was verified by the absence of differences in the parameters evaluated. Possibly, cows grazing native pastures develop mechanisms of accumulation and mobilization of body reserves that allow them, at least for the conditions of the present study, to overcome periods of forage shortage as an adaptation strategy.

Key Words: Sub-nutrition; Breeding cows; Grazing; Progeny; Body measurements.

Resumen. El objetivo del presente trabajo fue evaluar dos niveles de energía en la dieta de vacas para carne durante el último tercio de gestación, sobre características de la placenta, variables etológicas y morfométricas de sus hijas. Treinta y una vacas británicas multíparas, inseminadas a tiempo fijo y gestando hembras fueron asignadas el Día -90 (Día 0=parto) a dos niveles de consumo de energía relativo a los requerimientos de mantenimiento hasta el parto: i- 125 % (ALTO; n=15) y ii- 75 % (BAJO; n=16). En las vacas se registró peso vivo (PV), condición corporal (CC), concentración de ácidos grasos no esterificados (AGNE) e insulina. Se caracterizaron las placentas (peso, número de cotiledones y eficiencia placentaria) y se evaluaron medidas morfométricas y comportamentales de las terneras en sus primeras 24 horas de vida. Al parto, las vacas de BAJO presentaron mayor concentración de AGNE (0.45 ± 0.03 vs 0.27 ± 0.03 mmol/L, $P < 0.01$) y menor de insulina (8.83 ± 0.73 vs 10.88 ± 0.71 μ IU/mL, $P < 0.03$), así como menor PV (478 ± 15.4 vs 521 ± 11.8 kg, $P < 0.01$) y CC (3.9 ± 0.08 vs 4.5 ± 0.06 u; $P < 0.01$) respecto a las vacas de ALTO. Las características evaluadas en las placentas no fueron afectadas por los tratamientos como tampoco lo fue el PV de las terneras al nacimiento. De la misma forma, ninguna de las variables morfométricas ni comportamentales fue afectada significativamente por los tratamientos. En el presente experimento, las vacas subalimentadas movilizaron reserva corporal durante el último tercio de gestación para

Recibido: 2020-06-03. Aceptado: 2020-08-01

¹Facultad de Agronomía–UdelaR – Uruguay. Autor para la correspondencia: carlosjbatistab@gmail.com

²Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria – Uruguay

³Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista – Brasil.

resguardar la integridad de sus crías verificado por la ausencia de diferencias en los parámetros evaluados. Posiblemente las vacas pastoreando campo nativo desarrollen mecanismos de acumulación y movilización de reservas corporales que les permite, al menos para las condiciones del presente estudio, sobreponerse a los períodos de escasez de forraje como estrategia de adaptación.

Palabras clave: Sub-nutrición; Vacas de cría; Pastoreo; Progenie; Medidas corporales.

Introducción

En condiciones de pastoreo y especialmente de pasturas nativas, la capacidad de cubrir los requerimientos correspondientes al último tercio de gestación en vacas para carne suele estar limitada por la baja cantidad y calidad de alimento (Bermúdez y Ayala 2005). Esto condiciona la adecuada ingesta de energía y proteína y determina una movilización de reservas que afecta el peso vivo y condición corporal de la madre gestante (Martin *et al.*, 2007; Quintans *et al.*, 2008; Quintans *et al.*, 2010). Esta movilización de reservas de energía está asociada con la movilización de ácidos grasos y disminución en la concentración de insulina como mediadora entre energía y metabolismo (Hess *et al.*, 2005; Meikle *et al.*, 2005). Las alteraciones en la nutrición materna generalmente afectan la función placentaria y están en general asociadas con bajo crecimiento fetal, inadecuado desarrollo y bajo peso al nacimiento (Vonnahme *et al.*, 2007; Schoonmaker, 2013; Reyes, 2015). En bovinos, el desarrollo de la placenta comienza a los 25 a 30 días de gestación y su crecimiento y desarrollo máximo se alcanza en el último tercio de gestación, acompañando el crecimiento del feto lo que conlleva un incremento en la demanda de energía (Assis Neto *et al.*, 2010; Schoonmaker, 2013). Vonnahme *et al.* (2007) reportaron una disminución en el peso de la placenta sin cambios evidentes en el peso fetal en vacas para carne con subnutrición energética durante el primer tercio de gestación. Son escasos los reportes que vinculan el efecto del estado nutricional de las vacas al final de la gestación con el vigor de las crías (Riley *et al.*, 2004). En este sentido, un trabajo clásico de Kroker y Cummins (1979) reporta que el vigor de terneros y terneras hijos de vaquillonas mantenidas con bajo plano de alimentación (sin diferenciar entre energía y/o proteína) durante el último tercio de gestación fue afectado negativamente. La nutrición energética inadecuada durante la gestación influye negativamente sobre el crecimiento del feto. Ejemplo de esto son los trabajos de Gao *et al.* (2012), que empleando vacas lecheras alimentadas con bajo nivel de energía (5,25 MJ/kg/materia seca (MS)) durante los últimos 21 días de gestación observaron terneros

con menor peso vivo, altura corporal, longitud corporal, circunferencia torácica y circunferencia abdominal respecto de la progenie de vacas con alto nivel de energía (6.48 MJ/kg/MS). En la progenie de vacas de cría para carne los resultados de peso vivo fueron contradictorios cuando la restricción fue del orden del 20 % a 30 % durante el primer y segundo tercio de gestación (Underwood *et al.*, 2010; Long *et al.*, 2012). Sin embargo, deficiencias de energía del 30 % durante el último tercio de gestación en vaquillonas provocaron bajos pesos al nacimiento y al destete (Corah *et al.*, 1975). Por otra parte, Maresca *et al.* (2018) evaluando la descendencia de vacas para carne alimentadas en dos planos nutricionales diferentes de proteína (6 % vs 12 % PC, base MS), no observaron diferencias evidentes en peso vivo y medidas morfométricas de las terneras. La mayoría de reportes vinculan el efecto del estado nutricional de las vacas en gestación con el desempeño de sus terneros (Underwood *et al.*, 2010; Gao *et al.*, 2012), sin considerar que la nutrición prenatal puede condicionar el futuro desarrollo productivo y reproductivo de la ternera (Riley *et al.*, 2004; Martin *et al.*, 2007; Funston *et al.*, 2010). Es claro que el ambiente nutricional puede condicionar el desarrollo y tamaño de las crías al parto (Funston *et al.*, 2010), por lo que se requiere más información acerca del efecto nutricional energético en el último tercio de gestación sobre el desarrollo y comportamiento de la progenie hembra en vacas de carne, más aún cuando se trata de ganadería a cielo abierto.

Nuestra hipótesis de trabajo fue que un bajo nivel de energía consumida (75 % de los requerimientos) durante el último tercio de gestación en vacas para carne afectaría el desarrollo de la placenta, de las terneras y el comportamiento de éstas en las primeras horas de vida. El objetivo del experimento fue conocer las características placentarias, evaluar el comportamiento y las características morfométricas de terneras nacidas de vacas que recibieron planos nutricionales diferentes durante el último tercio de gestación.

Materiales y Métodos

Ubicación y Diseño experimental

El experimento fue realizado en la unidad experimental “Palo a Pique” del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA Uruguay, 33 °S, 56 °O) y todos los procedimientos con animales fueron aprobados por la comisión para la experimentación animal de Uruguay (CHEA, 0009/11). De un rodeo experimental de 200 vacas inseminadas a tiempo fijo con 4 toros seleccionados por bajo peso al nacimiento, se seleccionaron 31 (*Aberdeen Angus* x *Hereford*), de 4 - 9 años, multíparas, gestando terneras y cursando su último

tercio de gestación. El diagnóstico de gestación y determinación del sexo de las crías fue realizado el día 116 de gestación, y se determinó fecha probable de parto considerando un largo de gestación estandarizado de 280 días (NRC, 2000). En el día -90 (Día 0=parto) las vacas fueron asignadas a dos tratamientos contrastantes de energía hasta el parto: i- alimentadas al 125 % de los requerimientos energéticos de mantenimiento (NRC, 2000) (nivel ALTO, AL; n=15) y ii- alimentadas al 75 % de los requerimientos energéticos de mantenimiento (nivel BAJO; n=16) (Tabla 1).

Tabla 1. Características del alimento ofrecido en los tratamientos asignados hasta el parto (nivel ALTO=125 % y nivel BAJO=75 % de los requerimientos energéticos de mantenimiento), los valores nutricionales están expresados en totales del concentrado más el heno por día y por vaca.

Variables	ALTO (n=15)	BAJO (n=16)
EN (Mcal/día/vaca) día -90 ~ -45	12.98	8.11
PC (kg/día/vaca) día -90 ~ -45	1.20	0.78
EN (Mcal/día/vaca) día -45 ~ parto	14.53	9.05
PC (kg/día/vaca) día -45 ~ parto	1.34	0.86

EN=energía neta, PC=proteína cruda.

Alimentación

Previo al comienzo del experimento todas las vacas fueron acostumbradas a consumir una ración totalmente mezclada preparada en base a un concentrado comercial y heno por un período de 20 días. Una vez completado el acostumbramiento, las vacas fueron manejadas durante el periodo experimental en un corral a cielo abierto con piso de arena, disponiendo de 30 m² por vaca, sin acceso a pastura natural u otro alimento distinto al ofrecido y con libre acceso al agua. El alimento fue suministrado en módulos de alimentación individual, dos veces al día siendo verificado el consumo a través del pesaje diario del alimento rechazado. La estimación de la energía contenida en el alimento se realizó aplicando la ecuación sugerida por Hach (1987). El concentrado fue ajustado el día -90 de acuerdo con el estado fisiológico y peso vivo promedio de las vacas (NRC, 2000), resultando en 8.0 y 4.8 kg de concentrado por animal y por día (tal cual ofrecido) para nivel ALTO y BAJO, respectivamente. En el día -45, la cantidad de concentrado fue nuevamente ajustada de acuerdo con la evolución del PV promedio resultando en 9.1 kg y 5.4 kg por animal y por día para nivel ALTO y BAJO, respectivamente.

Las vacas fueron alimentadas en base a un concentrado comercial con 13.5 % de proteína y 2.5 % de extracto al éter formulado en base a granos de

cereal (maíz, sorgo) y subproductos industriales (afrechillo de arroz y expeler de soja). Al concentrado se le agregó 10 % de cáscara de arroz y 2 kg/animal/día de heno seco como fuente de fibra efectiva (*Lolium perenne* y *Holcus lanatus*). Para evitar trastornos de pH en el rumen se adicionaron 25 g de amortiguador de pH ruminal en la mezcla (Acid-Buf® Celtic Sea Minerals, Co. Cork, Ireland) y para balancear los requerimientos de calcio y fósforo se suministró sal comercial ad libitum en el corral con 16 % Ca+2 y 6 % P (Bovifos®, Nutral, Canelones, Uruguay) en saleros comunitarios.

Mediciones en los animales

El peso vivo (PV) y la condición corporal (CC) de las vacas fue registrada en los días -90, -60, -30, 0 y dentro de las primeras 24 horas posparto a primera hora de la mañana y sin ayuno previo. La escala de CC utilizada fue de 8 puntos (1: emaciada y 8: obesa; Vizcarra *et al.*, 1986). Se tomaron muestras de sangre por venopunción yugular con tubos heparinizados los días -90, -60, -30 y 0 a primera hora de la mañana antes de recibir el concentrado. Posteriormente las muestras fueron centrifugadas y el plasma almacenado a -20° C. Las concentraciones de insulina se determinaron usando un ensayo inmunoradiométrico (DIASource Immuno Assays S.A, Nivelles, Belgica), en el Laboratorio de Técnicas Nucleares, Facultad de Veterinaria, Montevideo, Uruguay. La sensibilidad del



ensayo fue 2.87 μ IU/ml. El coeficiente de variación intra-ensayo para el control 1 y el control 2 fueron 6.22 % y 7.33 % respectivamente. El coeficiente de variación inter-ensayo para los mismos controles fueron 6.66 % y 8.75 % respectivamente. Las concentraciones de AGNE se determinaron mediante el método Acetil Co A sintetasa utilizando reactivo NEFA – HR (2) (Wako Pure Chemical Industries, Richmond VA, EEUU), y todas las muestras incluidas en único ensayo. El límite de detección fue de 0.01 mmol/L y linealidad de hasta 4 mmol/L y cuantificado a través de espectrofotometría (Vitalab Selecta 2).

Una semana antes de la fecha probable del primer parto se comenzó el período de vigilancia (24 horas) de las vacas de modo que todos los partos fuesen observados y registrados. El período de partos se inició el día previsto y se extendió por 15 días. Luego del parto se recogieron 11 placentas por tratamiento las que fueron drenadas, pesadas y el número de cotiledones registrado. La eficiencia placentaria (EP) fue obtenida por el cociente entre el PV de las terneras al nacimiento y el peso de la placenta (Dwyer *et al.*, 2005). Dentro de las mediciones de comportamiento se registró el tiempo del parto considerado como el período desde que alguna parte de las extremidades de la ternera aparecía por la vulva y cuando la ternera era expulsada (Parto). Luego del nacimiento, se evaluaron los siguientes eventos: intento de pararse, período desde el nacimiento hasta que las terneras logran permanecer al menos 10 segundos sobre sus cuatro miembros (IP); intento en mamar, período que va desde que la ternera logra pararse hasta que intenta mamar (IM); y tiempo mamando, período entre que

lograba mamar y terminaba de mamar (TM) (adaptado de Hickson *et al.*, 2008). Dentro de las 8 horas posparto se registró el peso vivo y los valores morfométricos de todas las terneras incluyendo: largo (distancia lineal a lo largo de la columna vertebral desde el hueso occipital hasta la primera vértebra coxígea), altura (distancia lineal desde dorsal de la cadera al piso), circunferencia cefálica (medida alrededor del hueso parietal y la mandíbula, inmediatamente posterior al orbital), circunferencia torácica (perímetro del tórax medido inmediatamente posterior a los miembros anteriores) y circunferencia abdominal (perímetro abdominal medido sobre la línea umbilical) (Maresca *et al.*, 2018). Para las medidas morfométricas se utilizó cinta métrica con precisión de 1 mm, manejada siempre por el mismo operario (Hickson *et al.*, 2008).

Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado utilizando un modelo lineal mixto utilizando el software SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA). Las variables analizadas y sus interacciones se modelaron incluyendo como efecto fijo el tratamiento y edad de la madre, como aleatorios al padre y biotipo de la vaca. Para el análisis de las variables morfométricas se incorporó el peso vivo al nacimiento como covariable. EL PV, CC y las concentraciones de AGNE e insulina de las vacas se estudiaron como medidas repetidas en el tiempo. Los valores son presentados como media \pm error estándar (EE), y las diferencias se consideraron significativas con $P \leq 0.05$.

Tabla 1. Características del alimento ofrecido en los tratamientos asignados hasta el parto (nivel ALTO=125 % y nivel BAJO=75 % de los requerimientos energéticos de mantenimiento), los valores nutricionales están expresados en totales del concentrado más el heno por día y por vaca.

Variables	ALTO (n=15)	BAJO (n=16)
EN (Mcal/día/vaca) día -90 ~ -45	12.98	8.11
PC (kg/día/vaca) día -90 ~ -45	1.20	0.78
EN (Mcal/día/vaca) día -45 ~ parto	14.53	9.05
PC (kg/día/vaca) día -45 ~ parto	1.34	0.86

EN=energía neta, PC=proteína cruda.

Resultados

Las vacas en nivel ALTO y BAJO experimentaron evoluciones de PV y CC diferentes desde el comienzo de los tratamientos hasta el parto ($P < 0.001$) verificando la efectividad de los tratamientos nutricionales aplicados (Figura 1). En el Día -30 las vacas en el tratamiento BAJO tendieron a pesar menos (459 ± 15.4 vs 492 ± 11.8 kg; $P = 0.07$) y presentaron menor CC (3.8 vs 4.1 u; $P = 0.03$) que las vacas en ALTO. Ambas diferencias fueron significativas al parto

(día 0) cuando las vacas en BAJO presentaron 8.3 % menos de peso vivo (478 ± 15.4 vs 521 ± 11.8 kg; $P < 0.01$) y 13.3 % menos de CC (3.9 vs 4.5 u; $P < 0.01$) respecto a las vacas en ALTO.

Respecto a la concentración de AGNE (mmol/L), se observó una interacción entre el tratamiento y los días ($P < 0.05$). Durante los primeros 30 días posterior al comienzo del tratamiento (días -90 a -60), las

concentraciones de AGNE no fueron distintas entre vacas de ALTO y BAJO. Sin embargo, avanzada la gestación, se observó que las vacas de BAJO presentaron niveles de AGNE significativamente ($P < 0.01$) más altos que las vacas de ALTO, tanto al día -30 (0.45 ± 0.03 vs 0.28 ± 0.03 mmol/L) como al parto (día 0; 0.45 ± 0.03 vs 0.27 ± 0.03 mmol/L). La concentración de insulina ($\mu\text{IU/mL}$) fue significativamente más alta en vacas ALTO que en BAJO, durante los últimos 60 días de gestación (días -60 a día 0; Figura 1). Las vacas en ALTO presentaron una concentración media de insulina durante todo el período de $11.93 \pm 0.48 \mu\text{IU/mL}$ mientras que para las de BAJO fue de $9.33 \pm 0.54 \mu\text{IU/mL}$ ($P < 0.01$).

El largo de gestación no fue afectado por el tratamiento (279 ± 0.6 días). El peso de las placentas y el número de cotiledones no fueron diferentes entre tratamientos. Las placentas drenadas pesaron 4.1 ± 0.7 kg y 4.6 ± 0.7 kg para BAJO y ALTO respectivamente ($P = 0.18$) y el número de cotiledones fue 97.3 ± 9.8 y 88.3 ± 8.2 para ALTO y BAJO respectivamente ($P = 0.31$). No hubo diferencia en el PV de las terneras al nacimiento entre los tratamientos (33.2 ± 2.5 kg y 32.0 ± 2.3 kg para ALTO y BAJO respectivamente, $P = 0.33$). La EP no difirió entre tratamientos (8.86 ± 0.7 y 8.60 ± 0.6 kg de ternero/kg de placenta para ALTO y BAJO respectivamente, $P = 0.77$).

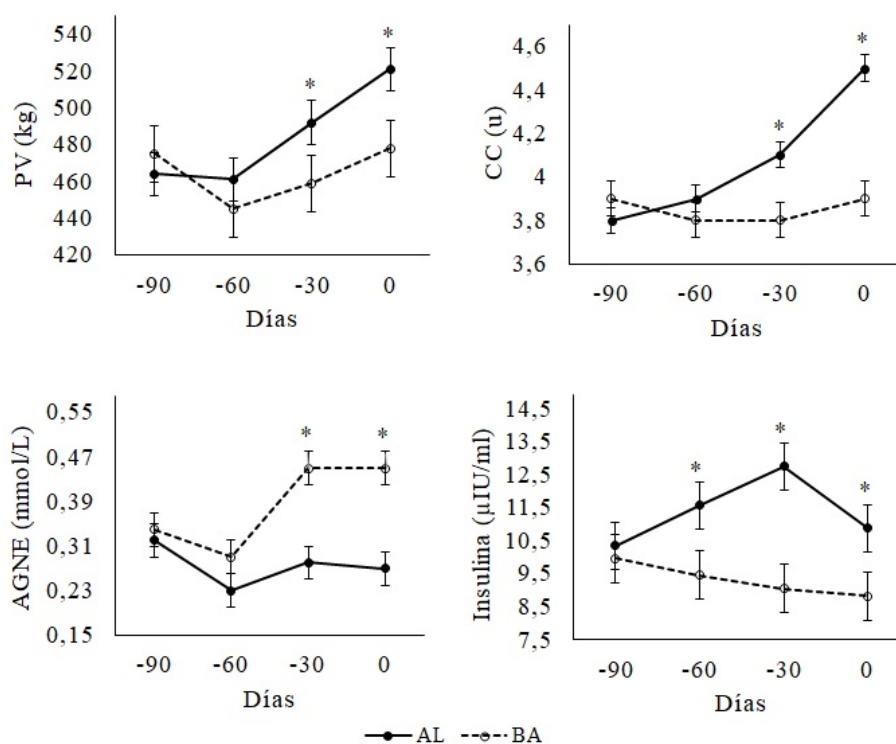


Figura 1. Niveles (media \pm EE) de peso vivo (PV), condición corporal (CC), ácidos grasos no esterificados (AGNE) e insulina de vacas de nivel ALTO (AL) y BAJO (BA), durante la aplicación de los tratamientos nutricionales. * cuando $P \leq 0.05$.

La duración del parto y el intervalo entre el nacimiento e intenta pararse no fueron afectados por los tratamientos. Las terneras del tratamiento BAJO

tendieron a mamar en menor tiempo que las de ALTO ($P = 0.07$), aunque el tiempo total mamando no fue diferente entre tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Comportamiento de las terneras en el parto y posparto inmediato (media \pm EE) expresado como intervalos en minutos según el nivel de alimentación recibido por las vacas en cada tratamiento.

Intervalos	ALTO (n=15)	BAJO (n=16)	P-valor
Parto (min)	23.3 ± 11.6	26.2 ± 8.9	0.83
IP (min)	22.7 ± 5.5	16.2 ± 5.1	0.14
IM (min)	40.8 ± 11.7	27.3 ± 11.2	0.07
TM (min)	18.5 ± 2.5	18.6 ± 1.9	0.95

ALTO=alta energía, BAJO=baja energía, Parto (visualiza alguna parte de la ternera – expulsa la ternera), IP (nace – intenta pararse), IM (logra pararse – intenta mamar), TM (tiempo mamando).

Los tratamientos no afectaron ninguna de las variables morfométricas corregidas por el peso vivo al nacimiento de las terneras, ($P > 0.05$; Tabla 3). En promedio, la altura registrada fue de 71.4 ± 1.0 cm, el

largo de 82.5 ± 2.5 cm, la circunferencia cefálica de 53.5 ± 2.0 cm, la circunferencia torácica de 76.3 ± 2.6 cm y la circunferencia abdominal de 80.5 ± 3.3 cm.



Tabla 3. Características morfométricas corregidas por el peso vivo de las terneras al nacimiento (media \pm EE) según el nivel de alimentación recibido por las vacas en cada tratamiento.

Variables	ALTO (n=15)	BAJO (n=16)	P-valor
Altura (cm)	71.8 \pm 0.7	70.9 \pm 0.5	0.28
Largo (cm)	74.5 \pm 1.6	74.8 \pm 1.3	0.86
Circunferencia Cefálica (cm)	47.7 \pm 1.0	49.2 \pm 0.8	0.23
Circunferencia Torácica (cm)	75.4 \pm 1.4	75.2 \pm 1.2	0.92
Circunferencia Abdominal (cm)	74.8 \pm 1.9	75.2 \pm 1.6	0.84

ALTO=alta energía, BAJO=baja energía.

Discusión

Los tratamientos nutricionales aplicados a las vacas durante el último tercio de gestación fueron efectivos en generar diferencias en el peso vivo y la condición corporal de las madres. Sin embargo, el nivel de restricción energética impuesta a las vacas del tratamiento BAJO (cubriendo el 75 % de sus requerimientos de mantenimiento) no afectó de forma evidente las características evaluadas en la progenie.

La evolución de la condición corporal que cursaron las vacas durante la gestación fue diferente entre tratamientos y refleja el nivel de energía consumido. Las vacas de nivel ALTO aumentaron más de medio punto de condición corporal desde el inicio de los tratamientos hasta el parto mientras que las vacas de nivel BAJO mantuvieron la condición corporal en el mismo periodo. En las vacas de nivel BAJO la severidad de la subnutrición (nivel y duración de esta) y la condición corporal inicial pudieron provocar una movilización diferencial de reservas. Durante la subnutrición la reserva corporal subcutánea es inicialmente movilizada por ser más lábil, pero también es movilizado el tejido adiposo perirrenal e intermuscular siendo la contribución de este último cuantitativamente más importante (Chilliard *et al.*, 2000). Es de notar que los cambios en depósitos grasos abdominales e intramusculares no afectan de modo evidente la condición corporal por lo que sería razonable hipotetizar que las vacas pertenecientes al tratamiento BAJO realizaron mayor movilización de algún tipo de reservas energéticas corporales (p.e. grasa perirrenal/intramuscular) para mantener su metabolismo, asociado al menor aumento de peso vivo al final de la gestación en relación con las vacas de ALTO. Verifica esta hipótesis el incremento en la concentración de AGNE observado en las vacas que mantuvieron la condición corporal durante el periodo preparto. El aumento de la concentración de estos ácidos grasos estaría reflejando el déficit de energía en el último tercio de gestación y los cambios hormonales que estimularon la movilización de estos a partir del tejido adiposo (Meikle *et al.*, 2005). Esta teoría coincide con lo expuesto por Radunz *et al.* (2010) quienes observaron incrementos en la movilización de

las reservas grasas de vacas preñadas subnutridas cursando el último tercio, y con Marín *et al.* (2011) que asociaron el aumento de AGNE con disminución de la condición corporal en ese periodo. En efecto, la lipólisis y consecuente aumento de la concentración de AGNE es estimulada por el déficit de energía, reflejada en nuestro trabajo por la disminución en la concentración de insulina. En el último tercio de gestación la concentración de glucosa al igual que de insulina disminuye por el aumento de las demandas fetales (Sletmoen-Olson *et al.*, 2000). La insulina tiene un rol central en el control homeostático ya que es una señal importante de mediación entre nutrientes y metabolismo de la glucosa (Hess *et al.*, 2005). Las concentraciones de AGNE e insulina observadas en nuestro trabajo reflejan los niveles nutricionales de los tratamientos energéticos aplicados.

El nivel de energía durante el último tercio de gestación no afectó el peso de la placenta, el número total de cotiledones ni la eficiencia placentaria. La placenta bovina alcanza su máximo crecimiento al inicio del último tercio de gestación (Schoonmaker, 2013), para después disminuir la tasa de crecimiento hasta el parto. El desarrollo de la cantidad de cotiledones, así como su vascularización sólo se extienden hasta finales de la segunda mitad de la gestación (Vonnahme *et al.*, 2007; Assis Neto *et al.*, 2010) por lo que no sería esperable observar diferencias atribuibles a planos nutricionales aplicados en la gestación tardía. En nuestro trabajo los tratamientos se aplicaron después del periodo de mayor crecimiento y desarrollo de la placenta, lo que explicaría que las placentas del tratamiento de BAJO fueran únicamente 11 % más livianas y tuvieran 10 % menos cotiledones respecto a las placentas de ALTO sin diferir significativamente. Niveles más pronunciados de restricción energética (60 % de los requerimientos) y aplicados más tempranamente en la gestación (día 50 a 180) produjeron alteraciones en la vascularización de la placenta con disminución del índice general de resistencia vascular, de la función placentaria, del peso fetal y de la eficiencia placentaria (Vonnahme y Lemley, 2012; Lemley *et al.*, 2018). El

riesgo de afectar la placenta y/o la función placentaria parecería ser pequeño cuando la restricción energética ocurre tarde en la gestación y su severidad no es extrema.

El efecto de la subnutrición materna sobre el desarrollo del sistema nervioso de la progenie fue evaluado a través del comportamiento de las terneras mediante la observación de la capacidad de realizar movimientos complejos en el período inmediato posterior al nacimiento. Esta valoración permitió determinar que la ingesta energética durante el último tercio de gestación no afectó de forma evidente a las terneras, al menos en sus primeras horas de vida. Los intervalos de tiempo evaluados desde el nacimiento hasta que la ternera logró pararse e intentó mamar no fueron afectados por los tratamientos. Resultados similares para la actividad de las crías en el posparto inmediato fueron observados por Dietz *et al.* (2003) suplementando vacas para carne con alimento graso durante el último tercio de gestación. Es posible suponer que en nuestro trabajo el consumo de energía y la eventual movilización de reservas corporales de las vacas durante el periodo parto no afectó el desarrollo del sistema nervioso central y en consecuencia la conducta posnatal de las crías (tiempo en pararse y mamar). En el último tercio de gestación el desarrollo fetal está abocado al crecimiento de todos los tejidos y comienza la mielinización nerviosa la cual continúa en la vida posnatal (Carrillo *et al.*, 2008). En ovinos, los mayores tiempos para pararse y mamar de los corderos provenientes de madres en baja condición corporal al final de la gestación, fueron parcialmente atribuidos a la cantidad de glucosa que estaría recibiendo el feto (Banchemo *et al.*, 2005). Los niveles de energía utilizados en nuestro trabajo posiblemente no afectaron el desarrollo celular y permitieron una adecuada formación de mielina en el sistema nervioso. Las concentraciones de AGNE e insulina observadas en nuestro trabajo expresan en parte la movilización de las reservas como se discutió previamente. Esto permitiría suponer que las terneras de ambos tratamientos recibieron niveles no restrictivos de energía lo que se vio reflejados en similares comportamientos durante las primeras horas de vida. Las terneras del grupo nivel BAJO tendieron a demorar menos en mamar respecto a las de nivel ALTO. Sin embargo, ninguna de las otras variables etológicas estudiadas fueron diferentes entre terneras de ambos tratamientos. Además, se observó que el tiempo dedicado a mamar en las primeras horas de vida no fue diferente en las terneras de BAJO y ALTO por lo que es posible especular que la energía contenida en el calostro cosechado fue suficiente para

cubrir los requerimientos de las terneras de ambos tratamientos.

Las medidas morfométricas corregidas por el peso vivo al nacimiento, covariable sugerida por Piaggio *et al.* (2017) para su estimación no fueron diferentes entre tratamientos. Tampoco lo fue el peso vivo de las terneras registrado en los primeros minutos de nacidas. Resultados similares fueron adjudicados a la buena actividad placentaria en vacas que fueron subnutridas en el primer tercio de gestación y realimentadas desde la mitad hasta el día 245 de gestación (Long *et al.*, 2009). El resultado de peso vivo al nacimiento obtenido en el presente trabajo también coincide con los resultados de Jennings *et al.* (2016) cuando evaluó vacas con 72 % y 142 % de los requerimientos de energía. Sin embargo, cuando el nivel de restricción en la gestación fue más severo (50 a 60 % de los requerimientos), se reportaron caídas del peso vivo y de la condición corporal de las vacas, así como una progenie más liviana respecto de tratamientos no restringidos (Corah *et al.*, 1975). Este menor peso vivo obedecería a que, en el proceso de partición de la energía se afecta negativamente la cantidad disponible para la gestación, comprometiendo el desarrollo fetal (Bell, 1995). Considerando que el mayor crecimiento prenatal se produce en el último tercio de gestación y que no existió diferencia en el peso vivo al nacimiento, podemos interpretar que los niveles nutricionales bajos en energía aplicados en nuestro trabajo no fueron suficientemente severos para generar una disminución en el peso vivo al nacimiento de las terneras. Como fue discutido previamente en vacas en adecuada condición corporal, la movilización de las reservas corporales y el correcto funcionamiento de la placenta habrían ofrecido un adecuado ambiente uterino con suficiente disponibilidad de nutrientes para el desarrollo de las terneras.

El bajo nivel de energía consumida durante el último tercio de gestación en vacas para carne no afectó el desarrollo de la placenta, de las terneras y el comportamiento de éstas en las primeras horas de vida. La movilización de las reservas corporales de las vacas parecería haber cubierto las demandas de energía del último tercio de gestación, evidenciando la capacidad de adaptarse y sobreponerse a estreses nutricionales. Esto fue posible debido a la adecuada condición corporal que presentaron las vacas durante todo el período experimental. Si bien las vacas experimentaron una pérdida evidente de condición corporal, esta nunca cayó a valores que pudieran ser considerados bajos. Restricciones de energía más

severos en el último período de la gestación y/o condiciones corporales más bajas durante la gestación podrían causar efectos negativos sobre la descendencia

a corto y mediano plazo. Se requiere más investigación en esta área, principalmente para sistemas pastoriles extensivos.

Conclusión

En los sistemas de cría vacuna, el periodo invernal coincide con el último tercio de gestación, por lo tanto, las vacas atraviesan un balance energético negativo hacia el parto. En dicho período, las vacas experimentarían pérdidas de condición corporal similares a las reportadas en el presente trabajo, potenciando el alargamiento del anestro posparto y posiblemente comprometiendo su desempeño reproductivo en la siguiente estación de cría. En el presente experimento, las vacas subalimentadas que movilizaron reserva corporal durante el último tercio de gestación no afectaron el desempeño de su progenie

al parto. Podríamos asumir que las vacas pastoreando campo nativo con restricciones de energía como los utilizadas en el grupo BAJO del presente trabajo desarrollan mecanismos de subsistencia preservando la integridad de la cría para sobreponerse a los períodos de escasez de forraje como estrategia de adaptación. Se necesita continuar generando información con niveles de restricción más severos (incorporando los requerimientos propios del pastoreo a cielo abierto), de forma de establecer un umbral por debajo del cual el desempeño futuro de la progenie podría verse afectado.

Literatura citada

- Assis Neto, A. C., F. T. V. Pereira, T. C. Santo, C. E. Ambrosio, R. Leiser & M. A. Miglino. 2010. Morpho-physical recording of bovine conceptus (*Bos indicus*) and placenta from days 20 to 70 of pregnancy. *Reproduction in Domestic Animals* 45: 760–772. <https://doi:10.1111/j.1439-0531.2009.01345.x>.
- Banchero, G., G. Quintans, J. Milton, D. Lindsay. 2005. Comportamiento maternal y vigor de los corderos al parto: Efecto de la carga fetal y la condición corporal, Seminario de reproducción ovina. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Treinta y Tres, Uruguay, pp. 61-67, <<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4562/1/Ad-401-Banchero-p.61-67.pdf>>.
- Bell, A. W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science* 73: 2804–2819.
- Bermúdez, R., W. Ayala. 2005. Producción de Forraje de un campo natural de la zona de lomadas del Este. En ‘Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural, Resultados experimentales’. Serie Técnica N° 151 pp. 41–50, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Treinta y Tres, Uruguay, <<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%2>
- Carrillo, A. M. H., J. A. G. Gutiérrez, R. L. Lizarde. 2008. Maduración neurológica en lactantes, productos de madres con embarazo de alto riesgo. *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación* 20: 37–42.
- Chilliard, Y., A. Ferlay, Y. Faulconnier, M. Bonnet, J. Rouel & F. Bocquier. 2000. Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society*. 59(1): 127–134.
- Corah, L. R., T. G. Dunn & C. C. Kaltenbach. 1975. Influence of prepartum nutrition on the reproductive performance of beef females and the performance of their progeny. *Journal of Animal Science* 41: 819–824. <https://doi:10.2527/jas1975.413819x>.
- Dietz, R. E., J. B. Hall, W. D. Whittier, F. Elvinger and D. E. Eversole. 2003. Effects of feeding supplemental fat to beef cows on cold tolerance in newborn calves. *Journal of Animal Science* 81: 885–894.
- Dwyer, C. M., S. K. Calvert, M. Farish, J. Donbavand, H. E. Pickup. 2005. Breed, litter and parity effects on placental weight and placentome number, and consequences for the neonatal behaviour of the lamb. *Theriogenology* 63:1092–1110. <https://doi:10.1016/j.theriogenology.2004.06.003>.
- Funston, R. N., D. M. Larson & K. Vonnahme. 2010. Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance, implications for beef cattle production. *Journal of Animal Science* 88:205–215. <https://doi:10.2527/jas.2009-2351>.
- Gao, F., Y. C. Liu, Z. H. Zhang, C. Z. Zhang, H. W. Su & S. L. Li. 2012. Effect of prepartum maternal energy density on the growth performance, immunity, and antioxidation capability of neonatal calves. *Journal of Dairy Science* 95: 4510–4518. <https://doi:10.3168/jds.2011-5087>.
- Hach, C. O. 1987. Food and feed analysis instruction manual. Hach, Inc., Loveland, CO. p.12-16.
- Hess, B.W., S. L. Lake, E. J. Scholljegerdes, T. R. Weston, V. Nayigihugu, J. D. C. Molle, G. E. Moss. 2005. Nutritional controls of beef cows reproduction. *Journal of Animal Science* 83: Suppl. 13: E90–E106..

- Hickson, R. E., P. R. Kenyon, N. Lopez Villalobos, S. T. Morris. 2008. Effects of liveweight gain during pregnancy of 15 -month- old Angus heifers on dystocia and birth weight, body dimensions, estimated milk intake and weaning weight of the calves. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 51:2, 171–180. <https://doi:10.1080/00288230809510445>.
- Jennings, T. D., M. G. Gonda, K. R. Underwood, A. E. Wertz-Lutz & A. D. Blair. 2016. The influence of maternal nutrition on expression of genes responsible for adipogenesis and myogenesis in the bovine foetus. *Animal* 10: 1697–1705. <https://doi:10.1017/S1751731116000665>.
- Kroker, G. A. & L. J. Cummins. 1979. The effect of nutritional restriction on hereford heifers in late pregnancy. *Australian Veterinarian Journal* 55: 467–474. <https://doi:10.1111/j.1751-0813.1979.tb00371.x>.
- Lemley, C. O., C. G. Hart, R. L. Lemire, E. H. King, R. M. Hopper, S. B. Park, B. J. Rude & D. Burnett. 2018. Maternal nutrient restriction alters uterine artery hemodynamic and placentome vascular density in *Bos indicus* and *Bos taurus*. *Journal of Animal Science*. 96: 4823–4834.
- Long, N. M., C. B. Tousley, K. R. Underwood, S. I. Paisley, W. J. Means, B. W. Hess, M. Du and S. P. Ford. 2012. Effects of early to mid-gestational undernutrition with or without protein supplementation on offspring growth, carcass characteristics, and adipocyte size in beef cattle. *Journal of Animal Science* 90: 197–206.
- Long, N. M., K. A. Vonnahme, B. W. Hess, P. W. Nathanielsz, S. P. Ford. 2009. Effects of early gestational undernutrition on fetal growth, organ development, and placentomal composition in the bovine. *Journal of Animal Science* 87: 1950–1959.
- Maresca, S., S. O. Lopez Valiente, A. M. Rodriguez, N. M. Long, E. Pavan, G. Quintans. 2018. Effect of protein restriction of bovine dams during late gestation on offspring postnatal growth, glucose - insulin metabolism and IGF-1 concentration. *Livestock Science* 212: 120–126.
- Marín, M. P., C. Ríos, H. Contreras, J. Robles, P. Meléndez. 2011. Ácidos grasos no esterificados al parto y su relación con producción lechera en vacas Holstein. *Archivos de Zootecnia* 60: 257–264.
- Martin, J. L., K. A. Vonnahme, D. C. Adams, G. P. Lardy & R. N. Funston. 2007. Effects of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *Journal of Animal Science* 85: 841–847. <https://doi:10.2527/jas.2006-337>.
- Meikle, A., D. Cavestany, J. Blanc, E. Krall, G. Uriarte, M. Rodríguez-Iraozqui, G. Ruprecht, A. Ferraris, P. Chilbroste. 2005. Perfiles metabólicos y endócrinos, parámetros productivos y reproductivos en vacas de leche en condiciones pastoriles. *Veterinaria* 40: 25–40.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, Seventh Revised Edition, Update 2000 Subcommittee on Beef Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council Available from the National Academies Press, Consultado en enero 2017, <<http://napedu/catalog/9791.html>>.
- Piaggio, L., G. Quintans, R. San Julián, G. Ferreira, J. Ithurralde, S. Fierro, A. S. C. Pereira, F. Baldi and G. E. Banchemero. 2017. Growth, meat and feed efficiency traits of lambs born to ewes submitted to energy restriction during mid-gestation. *Animal* 1–9.
- Quintans, G., G. Banchemero, M. Carriquiry, C. López, F. Baldi. 2010. Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Animal Production Science* 50: 931–938.
- Quintans, G., J. I. Velazco y G. Roig. 2008. Seminario de actualización técnica, cría vacuna Servicio de vaquillonas en otoño a los 20 meses de edad (resultados preliminares). Serie Técnica INIA N° 174 pp. 90, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Treinta y Tres, Uruguay, <<http://www.inia.uy/Publicaciones/Paginas/publicacion-1777.aspx>>.
- Radunz, A. E., F. L. Fluharty, M. L. Day, H. N. Zerby and S. C. Loerch. 2010. Parturition dietary energy source fed to beef cows: I. Effects on pre and postpartum cow performance. *Journal of Animal Science* 88: 2717–2728.
- Reyes, R. B. & L. A. F. Carrocera. 2015. Programación metabólica fetal. *Perinatología y Reproducción Humana* 29: 99–105.
- Riley, D. G., C. C. Chase, T. A. Olson, S. W. Coleman & A. C. Hammond. 2004. Genetic and nongenetic influences on vigor at birth and preweaning mortality of purebred and high percentage Brahman calves. *Journal of Animal Science* 82: 1581–1588.
- Schoonmaker, J. 2013. Effect of Maternal Nutrition on Calf Health and Growth. *WCDS Advances in Dairy Technology* 26: 125–135.
- Sletmoen-Olson, K. E., J. S. Caton, K. C. Olson, D. A. Redmer, J. D. Kirsch and P. Reynolds. 2000. Undergraded intake protein supplementation: II. Effects on plasma hormone and metabolite concentrations in periparturient beef cows fed low-quality hay during gestation and lactation. *Journal of Animal Science* 78: 456–463.
- Underwood, K. R., J. F. Tong, P. L. Price, A. J. Roberts, E. E. Grings, B. W. Hess, W. J. Means and M. Du. 2010. Nutrition during mid to late gestation affects growth, adipose tissue deposition, and tenderness in cross-bred beef steers. *Meat Science* 86: 588–93.



Vonnahme, K. A. & C. Lemley. 2012. Programming the offspring through altered uteroplacental hemodynamics, how maternal environment impacts uterine and umbilical blood flow in cattle, sheep and pigs. *Reproduction Fertility and Development* 24: 97–104. [https://doi: 10.1071/RD11910](https://doi:10.1071/RD11910).

Vonnahme, K. A., M. J. Zhu, P. P. Borowicz, T. W. Geary, B. W. Hess, L. P. Reynolds, J. S. Caton, W. J. Means & S. P. Ford. 2007. Effect of early gestational undernutrition on angiogenic factor expression and vascularity in the bovine placenta, *Journal of Animal Science* 85: 2464–2472. <https://doi:10.2527/jas.2006-80>.