


## Efecto de la nutrición en el último tercio de la gestación de vacas de carne sobre el desarrollo de la progenie



John Lenon Klein <sup>a\*</sup>

Sander Martinho Adams <sup>a</sup>

Amanda Farias de Moura <sup>b</sup>

Daniele Borchate <sup>a</sup>

Dari Celestino Alves Filho <sup>a</sup>

Dieison Pansiera Antunes <sup>a</sup>

Fabiana Moro Maidana <sup>c</sup>

Gilmar dos Santos Cardoso <sup>a</sup>

Ivan Luiz Brondani <sup>a</sup>

Ricardo Gonçalves Gindri <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Federal University of Santa Maria (UFSM). Department of Animal Science, Santa Maria, RS, Brazil.

<sup>b</sup> State Technical School of Professional and Technological Education of Diamantino, MT, Brazil.

<sup>c</sup> Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). Department of Animal Science, Porto Alegre, RS, Brazil.

\* Autor de correspondencia: [johnlenonklein@yahoo.com.br](mailto:johnlenonklein@yahoo.com.br)

### Resumen:

La restricción de la ingesta de nutrientes por parte de las vacas de carne durante la gestación puede influir en el potencial de crecimiento posparto de la progenie, por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de la restricción nutricional y de la nutrición adecuada o la sobrealimentación durante el último tercio de la gestación de

las vacas cruzadas (Charolais x Nellore) criadas en el bioma pampeano, sobre el rendimiento productivo de la progenie hasta los 15 meses de edad. Ochenta y tres (83) vacas se dividieron en tres tipos de tratamiento: vacas de control en pastos naturales bajo restricción nutricional (RES); suplementación para satisfacer el 100 % de las necesidades (REQ); suplementación por encima de las necesidades (ALTO). Los terneros nacidos de vacas con tratamiento REQ y ALTO tuvieron un mayor peso corporal al nacimiento que los terneros de las vacas con tratamiento RES (39.28, 39.13 vs 34.58 kg), sin que esto haya influido en el rendimiento postnatal. Las hembras de las vacas con tratamiento REQ y ALTO presentaron un mejor rendimiento postnatal y, en consecuencia, un mayor peso a los 12 meses de edad en comparación con las crías de las vacas con tratamiento RES (300.71 y 311.79 frente a 259.47 kg). Estos terneros alcanzaron el 60 % del peso adulto temprano (358 y 345 vs 405 d) y tuvieron un mayor porcentaje de reproducción a los doce meses de edad (73.98 y 84.08 vs 34.08 %) que las hembras nacidas de las vacas con tratamiento RES. La suplementación de las vacas para satisfacer el 100 % de las necesidades, así como la sobrealimentación durante el último tercio de la gestación, mejora el rendimiento de las crías a los doce meses de edad, y los machos y las hembras responden de forma diferente a los insultos nutricionales de la madre durante este periodo.

**Palabras clave:** Terneros, Crecimiento fetal, Restricción nutricional, Miogénesis.

Recibido: 08/07/2021

Aceptado: 18/01/2022

## Introducción

En el sistema de producción de terneros, las vacas de carne se mantienen en sistemas de forraje de menor calidad y pasan por períodos de menor suministro de nutrientes durante la preñez. La escasez de alimentos es habitual en muchas regiones del mundo, lo que hace que las vacas estén sometidas a restricciones alimentarias durante la gestación<sup>(1)</sup>. Esta baja ingesta de nutrientes se asocia con el futuro desarrollo de la progenie<sup>(2)</sup>. En estas situaciones de bajo suministro de nutrientes, la suplementación durante la gestación es una alternativa para evitar los efectos negativos de la deficiencia nutricional durante el período fetal en la productividad de la progenie<sup>(3)</sup>.

De acuerdo con Wilson *et al*<sup>(4)</sup>, el consumo de nutrientes afecta el desarrollo fetal, así como el desarrollo futuro de la progenie. Al trabajar con vacas cruzadas (Angus x Hereford), Bohnert *et al*<sup>(5)</sup> obtuvieron terneros machos más pesados al nacimiento (40.8 vs 39.3 kg) y al destete (191 vs 183 kg), cuando eran nacidos de vacas suplementadas con granos de destilería durante la gestación final. Wilson *et al*<sup>(4)</sup> también observaron que al proporcionar dos niveles de nutrientes digeribles totales en el último tercio de la gestación (100 y 12 % de las necesidades) a vacas de raza Angus x Simmental se registraba un

aumento del peso de los terneros machos al nacer (41.0 frente a 44.0 kg) cuando la ingesta de energía de la vaca aumentaba. Una mejor formación del músculo esquelético durante la gestación permite un mejor desarrollo de la progenie, ya que la nutrición de la hembra durante este periodo incrementa la síntesis y el crecimiento de las fibras musculares, así la formación de adipocitos intramusculares, favoreciendo la producción de carne de calidad en la progenie<sup>(2)</sup>. Ciertos investigadores<sup>(3)</sup> añadieron que cuando el número de fibras musculares formadas durante el embarazo debido a la programación fetal es menor, también disminuye la masa muscular y el rendimiento de los animales se ve influido negativamente.

Además de mejorar la producción de carne de las crías, la nutrición de las vacas durante la gestación también afecta al potencial productivo de las hembras. Funston *et al*<sup>(6)</sup> observaron un mayor peso al destete (232 frente a 225 kg) y una menor edad de pubertad (352 frente a 366 días) en las novillas de vacas cruzadas Red Angus x Simmental suplementadas con pastos nativos de invierno y/o residuos de cultivos de maíz durante el final de la gestación. Al estudiar los efectos de la nutrición materna en el segundo y tercer trimestre de la gestación, se demostró<sup>(7)</sup> que las hembras de vacas cruzadas (¼ Angus, ¼ Hereford, ¼ Pinzgauer y ¼ RedPoll) sometidas al 125 % de las necesidades nutricionales en el último trimestre de la gestación tenían una mayor tasa de partos y durante la temporada de cría concebían antes que los terneros de vacas que recibían el 100 y el 75 % de las necesidades. Partiendo de la hipótesis de que la mayor ingesta de nutrientes por parte de la vaca gestante mejora la productividad de la progenie después del parto, el objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de la restricción nutricional y de la nutrición adecuada o sobrealimentación durante el último tercio de la gestación de las vacas cruzadas (Charolais x Nellore) criadas en el bioma pampeano, sobre el rendimiento productivo de la progenie hasta los doce meses de edad.

## Material y métodos

Los protocolos utilizados en el experimento fueron aprobados por el Comité de Ética para el Uso de Animales (CEUA) de la Universidad Federal de Santa María, bajo el protocolo n° 7920140617 aprobado el 12/07/2017.

### Animales y factores de estudio

El estudio se realizó en el Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Federal de Santa María, Santa María - RS, Brasil. La zona experimental está situada a una altitud media de 95 m, a 29° 43' S y 53° 42' O. El clima de la región es "Cfa" (subtropical húmedo), según la clasificación de Köppen, con una pluviometría media anual entre 1,600 y 1,900 mm, y una temperatura de 18.8 °C, con una media mínima de 9.3 °C y una máxima media de 24.7 °C<sup>(8)</sup>.

Se utilizó un total de 83 vacas de carne, junto con su progenie, procedente del cruce rotativo entre Charolais (CH) y Nelore (NE), previamente distribuidos por edades (4 a 12 años) y por porcentaje de sangre Nelore. Tras el diagnóstico de gestación para determinar el momento de la misma, se dividieron en tres tratamientos según el nivel nutricional en el último tercio de la gestación: 28 vacas de control en pastos naturales bajo restricción nutricional (RES); 28 vacas en pastos naturales suplementados para cubrir el 100 % de las necesidades energéticas y proteicas (REQ), y 27 vacas en pastos naturales con suplementación por encima de las necesidades energéticas y proteicas (ALTO).

Las dietas fueron calculadas por los requerimientos nutricionales en el último tercio de la gestación de vacas de 475 kg de peso corporal, que consumían el 2.1 % del peso vivo de la materia seca forrajera, según las recomendaciones del Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos (NRC por sus siglas en inglés)<sup>(9)</sup>. El suplemento concentrado (Cuadro 1) se consideró como un aditivo a la ingesta de forraje que aportó el 0.28 y el 0.98 % del peso corporal de la suplementación para los tratamientos REQ y ALTO, respectivamente. Este plan nutricional permitió ganancias de peso diarias de -0.103, 0.025 y 0.207 kg día<sup>-1</sup> durante el último tercio de la gestación para los tratamientos RES, REQ y ALTO, respectivamente, lo que se tradujo en una mejor condición corporal de estas vacas al nacimiento (2.81, 2.92 y 2.99 puntos, en el mismo orden), siguiendo la escala de 1 a 5 puntos, donde 1 se clasifica como muy delgada y 5 como muy gorda. Las vacas que parieron machos tuvieron un menor aumento de peso diario durante el último tercio de la gestación (-0.02 vs 0.11 kg día<sup>-1</sup>) y una menor condición corporal que las que parieron hembras (2.89 vs 2.93 puntos).

Los animales se mantuvieron en cuatro potreros de pastos naturales, con superficies de 20, 21, 41 y 47 ha, y se les administró un suplemento de sales minerales (ProduBeef 60P® - con valores mínimos de 170, 60 y 130 g kg<sup>-1</sup> de calcio, fósforo y sodio, respectivamente) en cada potrero, con libre acceso. El pasto nativo estaba compuesto principalmente por la especie de verano, de origen africano, llamada capim-annoni (*Eragrostis plana* Ness), y por otras especies de pasto de estación cálida, *Paspalum notatum*, *Axonopus affinis* y *Desmodium incanum*. Las vacas de cada tratamiento se manejaron en grupos. Los potreros se rotaron entre los tratamientos cada 28 días para reducir el error experimental. La masa y el suministro de forraje en los potreros fueron de 4144.72 kg de materia seca ha<sup>-1</sup> y 11.22 kg de materia seca por cada 100 kg de peso vivo de los animales. La carga animal media fue equivalente a 275.21 kg ha<sup>-1</sup> de peso corporal. La suplementación se suministró diariamente a las 1100 h, comenzando el 15 de agosto de 2017, y duró hasta la fecha del parto de las vacas. El periodo de suplementación fue de 95 y 92 días para las vacas REQ y HIGH, respectivamente.

**Cuadro 1:** Composición de la fracción concentrada y consumo de nutrientes de las vacas en el último tercio de la gestación

Fracción de la dieta	Tratamientos <sup>1</sup>		
	RES	REQ	ALTO
Ingredientes de la fracción concentrada (% de materia seca)			
Maíz molido	-	81.78	91.74
Harina de soya	-	17.22	7.26
Urea	-	1.00	1.00
Composición bromatológica de la fracción concentrada (% de materia seca)			
Proteína cruda	-	18.00	15.00
Nutrientes digeribles totales	-	85.00	85.00
Ingesta de materia seca y nutrientes en vacas preñadas que pesan 475 kg			
Forraje nativo, kg día <sup>-1</sup>	9.98	9.98	9.98
Suplemento concentrado, kg día <sup>-1</sup>	-	1.32	4.69
Nutrientes digeribles totales, kg día <sup>-1</sup>	4.69	5.81	8.60
Proteína cruda, kg día <sup>-1</sup>	0.45	0.70	1.15
Nutrientes digeribles totales <sup>3</sup> , % de materia seca	88.50	109.60	162.30
Proteína cruda <sup>3</sup> , % de materia seca	60.00	93.40	153.30

Composición del forraje autóctono: proteína cruda 4.5%; nutrientes digeribles totales 47.0%.

<sup>1</sup> RES= vacas en pastos naturales bajo restricción nutricional; REQ= vacas suplementadas para satisfacer el 100% de las necesidades; ALTO= vacas suplementadas por arriba de los requerimientos.

<sup>2</sup> Consumo de forraje estimado en un 2,1% del peso corporal<sup>(9)</sup>.

<sup>3</sup> Consumo en relación con las necesidades diarias de nutrientes digeribles totales (5.30 kg) y proteína cruda (0.75 kg) descrito en NRC<sup>(9)</sup>.

Tras el parto, se mantuvieron las mismas condiciones de manejo para todos los tratamientos. El parto tuvo lugar entre el 25 de octubre y el 15 de diciembre de 2017. El día del parto, el conjunto de madres y crías fue llevado al centro de manejo para el pesaje y cuidado de las crías, y luego se mantuvieron en pastos de Tifton-85 (especies del género *Cynodon*) durante tres semanas. Tras este periodo, los animales se reubicaron en pastos nativos hasta el momento del destete de las crías convencionales, donde se presentaron a una edad promedio de  $165 \pm 17$  días.

### Crecimiento de los terneros

Tras el destete, la progenie permaneció durante 30 días en pastos tifton-85 recibiendo un 1 % de peso vivo de suplemento concentrado. El suplemento para terneros estaba compuesto por 57.2 % de maíz molido, 38.14 % de harina de soya y 4.66 % de sal mineral (ProduBeef 60P<sup>®</sup>). La combinación de estos ingredientes contenía un 22.20 % de proteína bruta y un 83.54 % de nutrientes digeribles totales. Posteriormente, se criaron a base de pastos intercalados de Avena negra y Raigrás (*Avena strigosa* + *Lolium multiflorum*), hasta los 12 meses de edad. Las muestras de los pastos, obtenidas cortando el follaje, mostraron un contenido de 17.84, 59.97 y 57.36 % de proteína bruta, nutrientes digeribles totales y fibra

detergente neutra, respectivamente. Todos los análisis químicos del concentrado y del forraje fueron realizados en el Laboratorio de Análisis Bromatológicos de la Universidad Federal de Santa María. Las crías permanecieron en los pastos entre el 5 de junio de 2018 y el 6 de noviembre de 2018, con un total de 155 días. La masa y el suministro de forraje en el período fueron de 1087.56 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca y 7.61 kg de materia seca por 100 kg de peso vivo de los animales. La carga ganadera media en este periodo fue de 894.83 kg ha<sup>-1</sup> de peso corporal. Debido a que los terneros se mantuvieron en un solo grupo, no fue posible cuantificar la ingesta de forraje de los animales; sin embargo, la estimación de la ingesta de materia seca para esta categoría de crecimiento es cercana al 2.40 % del peso corporal<sup>(9)</sup>.

### Medidas de rendimiento de la progenie

El rendimiento de los machos y de las hembras se evaluó por separado mediante el pesaje al nacimiento, al destete y a los 265 y 335 días de edad ( $\pm 17$  días). La ganancia media diaria de los animales se calculó dividiendo la ganancia de peso total entre el número de días transcurridos entre los pesajes, y los pesos de las crías se ajustaron posteriormente a 205, 270 y 365 días de edad, según las siguientes ecuaciones: PAJUST205 = (GMD Nacimiento al destete)  $\times$  205 + Peso al nacer; PAJUST270 = (GMD Destete a los 270 d)  $\times$  65 + PAJUST205; PAJUST365 = (GMD Destete a los 365 d)  $\times$  160 + PAJUST205, donde GMD = ganancia media diaria. Para complementar las evaluaciones de rendimiento, se tomaron las medidas corporales de los machos, junto con las ponderaciones. La condición corporal de los terneros se calculó siguiendo la metodología descrita por Cattelan *et al*<sup>(10)</sup>, a través del cociente del peso por la longitud corporal, siendo posteriormente ajustado por los 205 y 365 días. La aptitud reproductiva de las hembras se evaluó basándose en el peso reproductivo objetivo de 285 kg, que representa aproximadamente el 60 % del peso adulto (AW), tal y como recomienda el NRC<sup>(9)</sup>.

### Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado tanto para los machos (n= 42) como para las hembras (n= 41) fue completamente aleatorio, con tres tratamientos y un número variado de repeticiones. La normalidad de los residuos se analizó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se eliminaron las transformaciones y los valores atípicos cuando fue necesario. Posteriormente, los datos se sometieron a un análisis de la varianza mediante la prueba F a través del procedimiento (PROC) GLM, y cuando hubo significancia, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5% ( $P < 0.05$ ). Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SAS® Studio University Edition<sup>(11)</sup>, utilizando el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + N_i + I_j + Z_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde,

$\gamma_{ijk}$ : variables dependientes;

- $\mu$ : media de todas las observaciones;  
 $N_i$ : efecto del  $i$ -ésimo nivel nutricional prenatal;  
 $I_j$ : efecto de la covariable edad de la vaca;  
 $Z_k$ : efecto de la covariable porcentaje de la raza Nellore en las vacas;  
 $\varepsilon_{ijk}$ : efecto del error aleatorio residual (error b).

## Resultados

### Rendimiento de los machos

El rendimiento de las crías de las vacas sometidas a diferentes niveles nutricionales en el último tercio de la gestación se muestra en el Cuadro 2. Las vacas con tratamiento REQ y ALTO produjeron terneros machos más pesados al nacimiento en relación con las vacas con tratamiento RES (39.28 y 39.13 vs 34.58 kg, respectivamente). El rendimiento de los terneros machos durante la fase de lactancia no se vio influido por el nivel nutricional de la vaca en el último tercio de la gestación ( $P=0.1375$ ), con un peso ajustado a los 205 días de edad de 199.75, 220.76 y 215.93 kg de peso corporal, respectivamente, para los tratamientos RES, REQ y ALTO. El peso a los 205 días de edad es el resultado de la similitud ( $P=0.2471$ ) del aumento de peso diario de los machos durante la lactancia, con un valor medio de 0.85 kg día<sup>-1</sup>.

Un comportamiento similar se observó para el rendimiento post-destete de los machos, que no se vio influido por la nutrición materna durante el último trimestre de la gestación (Cuadro 2). Los machos tenían un peso medio de 229.18 y 302.12 kg de peso corporal, respectivamente, a los 270 días ( $P=0.1305$ ) y a los 365 d de edad ( $P=0.3603$ ). El peso corporal de los machos a los 365 días de edad es el resultado de la similitud en el rendimiento de estos animales durante el período posterior al destete ( $P=0.8582$ ). La ganancia media diaria de peso de los machos en este periodo fue equivalente a 0.56 kg día<sup>-1</sup> de peso corporal, rendimiento que puede considerarse inferior al esperado para animales en fase inicial de crecimiento con pastos cultivados.

El rendimiento durante el periodo postnatal hasta los doce meses de edad no se vio influido por el nivel nutricional de la vaca en el último tercio de la gestación ( $P=0.5829$ ), en el cual los terneros machos tuvieron una ganancia diaria equivalente a 0.70 kg día<sup>-1</sup> de peso corporal desde el nacimiento hasta los doce meses de edad. Asimismo, no hubo ningún efecto del nivel nutricional de la vaca durante la gestación ( $P>0.05$ ) en la longitud corporal de los terneros. Sin embargo, la compacidad corporal al nacimiento fue mayor en los terneros nacidos de vacas con tratamiento REQ y ALTO en comparación con los nacidos de vacas con tratamiento RES (0.59 y 0.59 frente a 0.54 kg cm<sup>-1</sup>, respectivamente), mostrando un mayor potencial de producción muscular por centímetro de canal.

**Cuadro 2:** Efectos del nivel nutricional de las vacas de carne durante el último tercio de la gestación sobre el rendimiento posparto de los terneros machos

Rendimiento	Tratamiento <sup>1</sup> (n)			Valor de <i>P</i>
	RES (14)	REQ (16)	ALTO (12)	
Rendimiento antes del destete a los siete meses de edad				
Peso al nacer, kg	34.58 <sup>b</sup> ± 1.32	39.28 <sup>a</sup> ± 1.24	39.13 <sup>a</sup> ± 1.43	0.0248
PAJUST205 <sup>2</sup> kg	199.75 ± 7.71	220.76 ± 7.25	215.93 ± 8.35	0.1375
Nacimiento-destete, kg d <sup>-1</sup>	0.80 ± 0.03	0.88 ± 0.03	0.86 ± 0.03	0.2471
Longitud del cuerpo, cm	63.58 ± 1.19	64.56 ± 1.15	64.51 ± 1.37	0.8130
Compacidad del cuerpo, kg cm <sup>-1</sup>	0.54 <sup>b</sup> ± 0.13	0.59 <sup>a</sup> ± 0.13	0.59 <sup>a</sup> ± 0.15	0.0212
Rendimiento post-destete a los nueve meses de edad				
PAJUST270 <sup>2</sup> , kg	215.97 ± 8.28	238.67 ± 7.50	232.91 ± 8.66	0.1305
Destete-265 d, kg día <sup>-1</sup>	0.28 ± 0.04	0.28 ± 0.03	0.26 ± 0.04	0.9498
Longitud del cuerpo, cm	108.18 ± 1.69	111.50 ± 1.62	110.94 ± 1.87	0.3447
Compacidad del cuerpo, kg cm <sup>-1</sup>	1.77 ± 0.05	1.93 ± 0.05	1.94 ± 0.05	0.0813
Rendimiento post-destete a los doce meses de edad				
PAJUST365 <sup>2</sup> , kg	289.15 ± 10.96	308.52 ± 10.30	308.72 ± 11.87	0.3603
Destete-335 d, kg día <sup>-1</sup>	0.56 ± 0.03	0.56 ± 0.03	0.58 ± 0.04	0.8582
Nacimiento-335 d kg día <sup>-1</sup>	0.68 ± 0.02	0.71 ± 0.02	0.72 ± 0.03	0.5829
Longitud del cuerpo, cm	125.78 ± 1.97	128.12 ± 1.89	125.12 ± 2.18	0.5388
Compacidad del cuerpo, kg cm <sup>-1</sup>	2.25 ± 0.08	2.38 ± 0.07	2.45 ± 0.08	0.2438

Los valores son las medias previstas ± errores estándar media (SEM).

<sup>abc</sup> Letras distintas en la misma línea difieren según la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> RES = vacas en pastos naturales bajo restricción nutricional; REQ = vacas suplementadas para satisfacer el 100% de las necesidades; ALTO = vacas suplementadas por encima de los requerimientos.

<sup>2</sup> Peso de los terneros ajustado a la edad.

## Rendimiento de las hembras

A diferencia del rendimiento de los machos, el peso al nacer de las hembras no se vio influido ( $P = 0.3730$ ) por el nivel nutricional de las vacas en el último tercio de la gestación (Cuadro 3), con un valor medio equivalente a 34.08 kg de peso corporal. Sin embargo, el desarrollo inicial de las terneras durante la fase de lactancia dio lugar a un mayor peso corporal ajustado a los 205 días de edad para la progenie de las vacas con tratamiento REQ y ALTO en comparación con las nacidas de vacas con tratamiento RES (211.58 y 210.95 frente a 187.76 kg, respectivamente). Este resultado está relacionado con la mayor ganancia media diaria de estas hembras durante la lactancia ( $P = 0.0336$ ) en relación con las terneras de las vacas con tratamiento RES (0.86 y 0.86 vs 0.75 kg día<sup>-1</sup>, respectivamente).

Además de un mejor rendimiento durante la fase de lactancia, las terneras de las vacas con tratamiento REQ y ALTO presentaron un mayor rendimiento tras el destete que las nacidas de vacas con tratamiento RES, lo que se tradujo en un mayor peso corporal tanto a los 270 ( $P = 0.0105$ ) como a los 365 d de edad ( $P = 0.0021$ ). Las terneras presentaron pesos corporales de 200.93, 224.89 y 233.15 kg a los 9 meses y de 259.47, 300.71 y



311.79 kg a los 12 meses de edad, respectivamente, para los tratamientos RES, REQ y ALTO.

La superioridad en el peso corporal de las hembras puede explicarse por las ganancias diarias de peso corporal de las crías en el periodo posterior al destete (Cuadro 3). En este periodo, las crías de las vacas con tratamiento ALTO mostraron mayores ganancias que las nacidas de las vacas con tratamiento RES tanto en 265 (0.34 vs 0.17 kg día<sup>-1</sup>) y 335 días de edad (0.45 vs 0.63 kg día<sup>-1</sup>). Las terneras de las vacas con tratamiento REQ mostraron un rendimiento similar al de los otros grupos estudiados durante la fase de crecimiento, con ganancias diarias de 0.21 y 0.55 kg de peso corporal a los 270 y 365 días de edad, respectivamente. El rendimiento desde el nacimiento hasta los 12 meses de las hembras fue mayor en las terneras de vacas con tratamiento REQ y ALTO ( $P=0,0019$ ) en relación con las nacidas de vacas con tratamiento RES (0.70 y 0.74 vs 0.60 kg día<sup>-1</sup>, respectivamente).

La nutrición de las vacas durante el último tercio de la gestación mejoró la aptitud reproductiva de las terneras a los doce meses de edad (Cuadro 3) Las terneras procedentes de vacas con tratamiento REQ y ALTO presentaron un mayor porcentaje de peso adulto a los doce meses de edad ( $P=0.0021$ ) en comparación con las nacidas de vacas con tratamiento RES (63.19 y 65.64 vs 54.65 %, respectivamente), resultado que está relacionado con el mayor rendimiento postnatal de estas hembras y, en consecuencia, con un mayor peso corporal a esa edad.

**Cuadro 3:** Efectos del nivel nutricional de las vacas de carne durante el último tercio de la gestación sobre el rendimiento posparto de las terneras

Rendimiento	Tratamiento <sup>1</sup> (n)			Valor de P
	RES (14)	REQ (12)	ALTO (15)	
Rendimiento después del destete				
Peso al nacer, kg	32.79 ± 1.25	35.45 ± 1.38	34.01 ± 1.24	0.3730
PAJUST205 <sup>2</sup> , kg	187.76 <sup>b</sup> ± 6.46	211.58 <sup>a</sup> ± 7.28	210.95 <sup>a</sup> ± 7.08	0.0266
Nacimiento-destete, kg d <sup>-1</sup>	0.75 <sup>b</sup> ± 0.02	0.86 <sup>a</sup> ± 0.03	0.86 <sup>a</sup> ± 0.03	0.0336
Rendimiento después del destete				
PAJUST270 <sup>2</sup> , kg	200.93 <sup>b</sup> ± 7.08	224.89 <sup>a</sup> ± 7.71	233.15 <sup>a</sup> ± 7.48	0.0105
Destete-265d, kg día <sup>-1</sup>	0.17 <sup>b</sup> ± 0.03	0.21 <sup>ab</sup> ± 0.03	0.34 <sup>a</sup> ± 0.03	0.0103
PAJUST365 <sup>2</sup> , kg	259.47 <sup>b</sup> ± 9.60	300.71 <sup>a</sup> ± 10.83	311.79 <sup>a</sup> ± 10.51	0.0021
Destete-335d, kg día <sup>-1</sup>	0.45 <sup>b</sup> ± 0.03	0.55 <sup>ab</sup> ± 0.03	0.63 <sup>a</sup> ± 0.03	0.0043
Nacimiento-335d, kg día <sup>-1</sup>	0.60 <sup>b</sup> ± 0.02	0.70 <sup>a</sup> ± 0.02	0.74 <sup>a</sup> ± 0.02	0.0019
Peso adulto -335 d, % <sup>3</sup>	54.65 <sup>b</sup> ± 2.02	63.19 <sup>a</sup> ± 2.28	65.64 <sup>a</sup> ± 2.21	0.0021

Los valores son las medias previstas ± errores estándar medios (EEM).

<sup>1</sup> RES = vacas en pastos naturales bajo restricción nutricional; REQ = vacas suplementadas para satisfacer el 100% de las necesidades; ALTO = vacas complementadas por encima de los requerimientos.

<sup>2</sup> Peso de los terneros ajustado a la edad.

<sup>3</sup> Las hembras deben alcanzar el 60% del peso adulto (285 kg de peso corporal).

<sup>abc</sup> Valores con letras distintas en la misma línea difieren según la prueba de Tukey ( $P<0.05$ ).

## Discusión

Entre los factores que pueden alterar el ambiente uterino durante la gestación, destacan los efectos de la nutrición materna, donde tanto la desnutrición como la sobrealimentación pueden modificar el metabolismo y la fisiología del ternero tras el nacimiento<sup>(12)</sup>, con reflexiones sobre el potencial de producción de la progenie. En este estudio, los efectos de los distintos niveles nutricionales de las vacas de carne durante el último tercio de la gestación fueron diferentes entre la progenie de los machos y de las hembras, lo que dio lugar a una discusión de las categorías por separado.

### Rendimiento de los machos

La satisfacción de los requerimientos o la suplementación de las vacas por encima de las necesidades de mantenimiento de proteínas y energía en el último tercio de la gestación proporcionó una mayor ingesta de nutrientes por parte de las vacas preñadas, aspecto que puede haber mejorado el suministro nutricional para el feto, con la consiguiente formación de tejido muscular. La mejora de la nutrición materna dio lugar a un mayor peso al nacer de los machos provenientes de vacas con tratamiento REQ y ALTO. Du *et al.*<sup>(13)</sup> afirman que en esta etapa de la gestación se producen la finalización de la hiperplasia muscular y la hipertrofia de las fibras preformadas, así como el inicio de la formación de adipocitos en el músculo esquelético fetal. Según Funston *et al.*<sup>(6)</sup>, el desarrollo del músculo esquelético fetal tiene una baja prioridad nutricional durante el embarazo, factor que perjudica la formación del tejido muscular en situaciones de baja ingesta de nutrientes. Diversos autores que han estudiado los efectos de la nutrición materna sobre el rendimiento de la progenie masculina<sup>(5,14,15)</sup> corroboran este estudio al reportar la mejora en el peso corporal al nacimiento de los terneros machos nacidos de vacas con mayor estado nutricional en la gestación, justificando la atribución de este resultado a los efectos de la programación fetal.

La mayor compacidad corporal de los terneros de vacas con tratamiento REQ y ALTO en comparación con los de vacas con tratamiento RES (Cuadro 3) puede estar relacionada con los cambios en la hiperplasia y/o hipertrofia de las fibras musculares que se produjeron en el último tercio de la gestación y que se vieron favorecidos por una mejor nutrición de la vaca gestante, como se explicó anteriormente<sup>(12)</sup>. Maresca *et al.*<sup>(16)</sup> calcularon el índice de masa corporal dividiendo el peso del ternero al nacer entre la raíz cuadrada de la longitud del cuerpo, y obtuvieron un mayor índice muscular en los terneros nacidos de vacas Aberdeen Angus alimentadas con un mayor nivel de proteínas en la dieta durante el final de la gestación. La compacidad corporal representa una mayor deposición de músculo por unidad de medida corporal, aspecto que puede aumentar la parte comestible de la canal.

Los efectos de la nutrición materna durante la gestación no se evidenciaron después del nacimiento de los terneros machos, los cuales mostraron una similitud ( $P>0,05$ ) en los

pesos ajustados a los 205, 270 y 365 días, resultado que se relaciona con el aumento de peso diario de los terneros machos después del parto. Sin embargo, a la edad de 105 días los terneros nacidos de vacas con tratamiento REQ y ALTO eran, respectivamente, un 10.51 y un 8.10 % más altos que los machos nacidos de vacas con tratamiento RES.

Larson *et al*<sup>(17)</sup> y Bohnert *et al*<sup>(5)</sup>, quienes trabajaron con vacas Red Angus x Simmental y Angus x Hereford, respectivamente, obtuvieron mayores pesos al destete de los terneros nacidos de vacas suplementadas con granos de destilería en el último tercio de la gestación. Marques *et al*<sup>(18)</sup> observaron un mayor peso al destete en los terneros machos nacidos de vacas Angus x Hereford que ganaron puntajes de condición corporal en el segundo o tercer trimestre de gestación, en comparación con las que fueron alimentadas para ganar condición corporal al principio de la gestación o que recibieron suplementos para mantener un puntaje de condición corporal adecuada e inadecuada durante toda la gestación, lo que demuestra que la estimulación nutricional durante las etapas de miogénesis y adipogénesis da lugar a una progenie masculina con mayor potencial productivo.

El rendimiento post-destete de los machos fue similar en los diversos niveles nutricionales de las vacas durante el último tercio de la gestación (Cuadro 2). Un estudio meta-analítico<sup>(19)</sup> demostró que el aumento de peso de las vacas durante la gestación mejora el rendimiento de la progenie, y agrega que los efectos de una mejor nutrición materna en la gestación son más evidentes durante los dos primeros meses de vida de los terneros.

En general, la literatura ha demostrado que los resultados de la programación fetal se expresan más claramente en los primeros meses de vida de la progenie, especialmente en lo relativo al rendimiento masculino<sup>(5,14,17)</sup>. Estos autores no encontraron diferencias de peso tras el destete; sin embargo, comentan que el peso corporal superior observado en las crías de vacas con un mayor nivel nutricional durante la gestación persiste o incluso aumenta durante las fases de su crecimiento.

Incluso sin obtener la ingesta de forraje de los terneros, el estrés causado por el destete y la posterior adaptación al pasto de Avena Negra + Raigrás puede haber limitado el potencial productivo de la progenie de vacas con tratamiento REQ y ALTO durante el periodo de crecimiento inicial hasta los 270 días de edad, que es el momento de este periodo cuando los terneros de las vacas con tratamiento RES vieron su rendimiento favorecido (Cuadro 2). Webb *et al*<sup>(20)</sup> afirman que la restricción nutricional durante la gestación acaba produciendo un fenotipo "económico", que según Greenwood *et al*<sup>(21)</sup>, tiene una mayor capacidad de adaptación metabólica a ambientes menos favorables durante la vida postnatal, pudiendo mostrar ganancias compensatorias en ambientes desafiantes después del nacimiento<sup>(22)</sup>. Estos cambios estructurales y funcionales en los órganos permiten una rápida adaptación del feto en desarrollo a la presión de la selección ambiental uterina<sup>(23)</sup> y preparan al organismo para sobrevivir en entornos similares en su vida adulta.

## Rendimiento de las hembras

Sin embargo, los efectos de la programación fetal también se observaron en las terneras hembras, con efectos distintos a los observados en los machos. A diferencia de lo observado en la progenie de los machos, el peso al nacer de las hembras fue similar entre los distintos niveles nutricionales de las vacas en el último tercio de la gestación (Cuadro 3). Funston *et al*<sup>(6)</sup> y Larson *et al*<sup>(17)</sup>, quienes estudiaron los efectos de la programación fetal en el rendimiento de machos y hembras contemporáneos Red Angus x Simmental, observaron resultados similares. Estos autores informaron de comportamientos diferentes para el desarrollo de los machos y de las hembras, en los que los machos mostraron diferencias en el peso al nacer, pero tuvieron rendimientos similares en las etapas posteriores del crecimiento. Al evaluar a las hembras, Funston *et al*<sup>(6)</sup> observaron pesos similares al momento del nacimiento; sin embargo, en el desempeño postnatal, las terneras nacidas de las vacas que recibieron suplementación proteica durante la gestación tardía presentaron mayor peso al destete, y esta diferencia de peso se mantuvo hasta el inicio de su etapa reproductiva.

En general, las hembras tienen un menor peso al nacer en comparación con los machos, lo que puede representar una menor demanda nutricional para la vaca durante la gestación y, en consecuencia, menores efectos de la programación fetal en el peso al nacer de las terneras hembras, como se observó en el presente estudio, en el que las crías de las vacas con tratamiento REQ y ALTO al nacer sólo pesaron un 5.91 % más que las vacas con tratamiento RES. Las hembras tuvieron en promedio 10.5 % menos de peso al nacer que los machos, lo que puede justificar la hipótesis de que las hembras tienen menores necesidades nutricionales durante el periodo fetal. Esta teoría es aún más evidente cuando se observa que las vacas que parieron hembras tuvieron una mayor ganancia media diaria durante el periodo de suplementación (0.11 vs -0.02 kg día<sup>-1</sup>) y parieron con una mejor puntuación de condición corporal (2.93 vs 2.89 puntos) en comparación con las vacas que parieron machos, es decir: el exceso de nutrientes se almacenó como reservas corporales debido a las menores demandas nutricionales para el feto.

Los efectos de la programación fetal se expresaron más claramente en el rendimiento postnatal de las hembras (Cuadro 3), siendo las terneras de vacas con tratamiento REQ y ALTO en promedio 23.50 kg más pesadas a los 7 meses de edad en comparación con las crías de vacas con tratamiento RES. También se observó un mayor peso al destete de las hembras nacidas de vacas suplementadas en el último trimestre de gestación<sup>(24)</sup> en vacas Red Angus cruzadas, y lo mismo reportaron Funston *et al*<sup>(6)</sup>, habiendo sido este grupo de hembras respectivamente 7.5 y 8.0 kg más pesadas que las terneras de vacas con menor nivel nutricional en el mismo periodo. Cushman *et al*<sup>(7)</sup> y Shoup *et al*<sup>(25)</sup>, al estudiar vacas cruzadas (¼ Angus, ¼ Hereford, ¼ Pinzgauer y ¼ RedPoll) y Angus x Simmental, respectivamente, no observaron diferencias en el rendimiento, durante la lactancia hasta el destete, entre las terneras de vacas que recibieron suplementación durante la gestación y las de aquellas que no, y justificaron este resultado por la similitud en las ganancias de peso en la fase de lactancia.

El crecimiento superior de las hembras de las vacas con tratamiento REQ y ALTO persistió y aumentó después del periodo de lactancia, y a los doce meses de edad, estas hembras tenían respectivamente un 15.89 y un 20.16 % más de peso corporal en comparación con las nacidas de vacas con tratamiento RES. Según Greenwood *et al*<sup>(21)</sup>, la restricción de la alimentación durante el desarrollo fetal puede limitar la capacidad de crecimiento de la progenie durante el periodo postnatal, con un crecimiento más lento de las crías hasta los 30 meses de edad. El retraso en el desarrollo de las hembras durante la edad adulta puede provocar pérdidas, así como una disminución de su potencial productivo. Como consecuencia de su mayor desarrollo corporal durante el crecimiento, las hembras de vacas con tratamiento REQ y ALTO tuvieron un mayor porcentaje de peso adulto a los doce meses de edad (Cuadro 3). Shoup *et al*<sup>(25)</sup> no observaron diferencias en el porcentaje de peso adulto —que en promedio ascendió al 51%— entre las crías de vacas no suplementadas o que recibieron cantidades bajas de concentrado durante la gestación y las que recibieron cantidades altas del mismo. Un mayor porcentaje de peso adulto al momento del apareamiento puede reflejar mejores tasas de reproducción, ya que la hembra necesita ganar menos peso durante la gestación hasta el primer parto. Algunos autores<sup>(7,24)</sup> observaron en las hembras nacidas de vacas con una mayor ingesta de nutrientes en el último trimestre de la gestación no sólo una mejora en la estructura corporal sino también una mayor tasa de partos en los primeros 21 días de la temporada de nacimientos; esto indica que estas hembras conciben al inicio de su etapa reproductiva, lo que puede dar como resultado una mayor longevidad productiva de las hembras nacidas de vacas que recibieron una nutrición de más alto nivel durante la gestación<sup>(6)</sup>.

En este sentido, es evidente la influencia que ejerce la mejor nutrición materna durante la gestación sobre el potencial productivo de la progenie. Sin embargo, la satisfacción de los requerimientos nutricionales o la sobrealimentación de las vacas en el último tercio de la gestación no modificó el rendimiento de las crías evaluadas hasta la edad de doce meses. También cabe destacar que durante las fases de crecimiento los efectos de la programación fetal en el rendimiento postnatal pueden ser diferentes en los machos que en las hembras.

## Conclusiones e implicaciones

En resumen, los resultados de este estudio demuestran que tanto la suplementación por arriba de las necesidades nutricionales como la satisfacción del 100 % de las necesidades de las vacas de carne durante el último tercio de la gestación mejora el peso al nacer de los machos, pero, sobre todo, el rendimiento postnatal de las hembras hasta los 12 meses de edad, lo que se traduce en un mayor peso adulto a los 365 días de edad de estas novillas. Por lo tanto, la progenie masculina y femenina responden de manera diferente a los cambios intrauterinos causados por la nutrición materna durante el último tercio de la gestación, tema que es necesario seguir investigando. Por otra parte, con respecto a los parámetros evaluados, la sobrealimentación de las vacas en el último tercio de la gestación no mejora el rendimiento de las crías hasta los 12 meses de edad.

### **Agradecimientos**

Los autores manifiestan su gratitud al equipo de apoyo de profesores y estudiantes de grado y postgrado de las carreras de Agronomía, Medicina Veterinaria y Zootecnia por su asistencia en las actividades operativas que permitieron la ejecución de este trabajo.

### **Declaración de conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

### **Literatura citada:**

1. Gutiérrez V, Espasandín AC, Machado P, Bielli A, Genovese P, Carriquiry M. Effects of calf early nutrition on muscle fiber characteristics and gene expression. *Livest Sci* 2014;(167):4018-416.
2. Du M, Huang Y, Das AK, Duarte MS, Dodson MV, Zhu MJ. Manipulating mesenchymal progenitor cell differentiation to optimize performance and carcass value of beef cattle. *J Anim Sci* 2013;(91):1419-1427.
3. Du M, Wang B, Fu X, Yang Q, Zhu MJ. Fetal programming in meat production. *Meat Sci* 2015;(109):40-47.
4. Wilson TB, Faulkner DB, Shike DW. Influence of prepartum dietary on beef cow performance and calf growth and carcass characteristics. *Livest Sci* 2016;(184):21-27.
5. Bohnert DW, Stalker LA, Nyman A, Falck SJ, Cooke RF. Late gestation supplementation of beef cows differing in body condition score: Effects on cow and calf performance. *J Anim Sci* 2013;(91):5485-5491.
6. Funston RN, Martin JL, Adams DC, Larson DM. Winter grazing system and supplementation of beef cows during late gestation influence heifer progeny. *J Anim Sci* 2010;(88):4094-4101.
7. Cushman RA, McNeel AK, Freetly HC. The impact of cow nutrient status during the second and third trimesters on age at puberty, antral follicle count, and fertility of daughters. *Livest Sci* 2014;(162):252-258.
8. Alvares, CA, Stape, JL, Sentelhas, PC, Gonçalves, JLM, Sparovek, G. KÖPPEN'S climate classification map for Brazil. *Meteorologi Schezeit Schrift* 2014;(22):211-728.
9. NRC. National Research Council. Nutrient requirements of beef cattle. Oklahoma State University: Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma, USA: National Academy Press; 1998.

10. Cattelam J, Argenta FM, Alves FDC, Brondani IL, Pacheco PS, Pacheco RF, *et al.* Characteristics of the carcass and quality of meat of male and female calves with different high-grain diets in confinement. *Semina: Ciências Agrárias* 2018;(39): 667-681.
11. SAS. Statistical Analysis System. User's guide version 3.5 SAS® Studio University Edition. Cary, North Carolina; USA: SAS Inst. Inc. 2016.
12. Tsuneda PP, Hatamoto-Zervoudadakls LK, Duarte Júnior MF, Silva LES, Delbem RA, Motheo TF. Efeitos da nutrição materna sobre o desenvolvimento e performance reprodutiva da prole de ruminantes. *Investigação* 2017;(16):56-61.
13. Du M, Tong J, Zhao J, Underwood KR, Zhu MJ, Ford SP, Nathanielsz PW. Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. *J Anim Sci* 2010;(88):51-60.
14. Underwood KR, Tong JF, Price PL, Roberts AJ, Grings EE, Hess BW *et al.* Nutrition during mid to late gestation affects growth, adipose tissue deposition, and tenderness in cross-bred beef steers. *Meat Sci* 2010;(86):588-593.
15. LeMaster CT, Taylor RK, Ricks RE, Long NM. The effects of late gestation maternal nutrient restriction with or without protein supplementation on endocrine regulation of newborn and postnatal beef calves. *Theriogenology* 2017;(87):64-71.
16. Maresca S, Lopez Valiente S, Rodriguez AM, Long NM, Pavan E, Quintans G. Effect of protein restriction of bovine dams during late gestation on offspring postnatal growth, glucose-insulin metabolism and IGF-1 concentration. *Livest Sci* 2018;(212):120-126.
17. Larson DM, Martin JL, Adams DC, Funston RN. Winter grazing system and supplementation during late gestation influence performance of beef cows and steer progeny. *J Anim Sci* 2009;(87):1147-1155.
18. Marques RS, Cooke RF, Rodrigues MC, Moriel P, Bohnert DW. Impacts of cow body condition score during gestation on weaning performance of the offspring. *Livest Sci* 2016;(191):174-178.
19. Klein JL, Machado DS, Adams SM, Pötter L, Alves-Filho DC, Brondani IL. Beef cow weight variations during gestation and offspring performance: a meta-analysis. *Semina: Ciências Agrárias* 2010;(42):3961-3976.
20. Webb MJ, Block JJ, Funston RN, Underwood KR, Legako JF, Harty AA *et al.* Influence of maternal protein restriction in primiparous heifers during mid and/or late-gestation on meat quality and fatty acid profile of progeny. *Meat Sci* 2019;(152):31-37.

21. Greenwood PL, Thompsom AN, Ford SP. Postnatal consequences of the maternal environment and growth during prenatal life for productivity of ruminants. In: greenwood PL *et al.* editors. Managing the prenatal environment to enhance livestock productivity. Springer Dordrecht Heldeliberger London New York, 2010:3-36.
22. Ramírez M, Testa LM, Valiente SL, La Torre E, Long NM, Rodriguez AM *et al.* Maternal energy status during late gestation: Effects on growth performance, carcass characteristics and meat quality of steers progeny. *Meat Sci* 2020;(164):1-7.
23. Reynolds LP, Borowicz PP, Caton JS, Crouse MS, Dahlen CR, Ward AK. Developmental programming of fetal growth and development. *Vet Clin Food Anim* 2019;(35):229-247.
24. Martin JL, Vonnahme KA, Adams DC, Lardy GP, Funston RN. Effects of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *J Anim Sci* 2007;(85):841-847.
25. Shoup LM, Ireland FA, Shike DW. Effects of dam prepartum supplement level on performance and reproduction of heifer progeny. *Italian J Anim Sci* 2017;(16):75-81.