

INFLUENCIA DE LA RESTRICCIÓN PROTEICA EN EL ÚLTIMO TERCIO DE GESTACIÓN SOBRE EL CRECIMIENTO, CARACTERÍSTICAS DE CARCASA Y CALIDAD DE CARNE DE LA DESCENDENCIA

S. Maresca¹, S. López Valiente¹, A.M Rodríguez¹, L.M. Testa², N.M. Long³, G. Quintans⁴, E. Pavan^{2,3,5}

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar si la ingesta de proteína durante los últimos tres meses de gestación afecta el crecimiento, las características de la canal y la calidad de la carne de la progenie. A 134 ± 14 días de gestación, 68 vacas Angus múltiparas fueron estratificadas por PV y fecha de parto esperada y asignadas aleatoriamente a dietas que contenían alta (AP) o baja (BP) concentración de proteína cruda en la dieta. Después del parto, las vacas fueron manejadas juntas en pasturas mejoradas durante la lactancia. Después del destete a los 219 ± 13 días de edad, los terneros se criaron en pasturas naturales hasta 687 ± 13 días de edad y luego se colocaron en un corral de engorde durante 83 días antes del sacrificio. La concentración de proteína en la dieta materna no tuvo influencia en el peso vivo y la tasa de crecimiento de las crías durante las fases de recría o terminación ($P > 0,10$). El espesor de grasa dorsal (GD) de los novillos no se vio afectado ($P = 0,38$) por los tratamientos de nutrición materna, sin embargo, el área de ojo de bife (AOB) fue mayor en novillos AP que novillos BP al inicio ($P = 0,01$) y al final de la fase de terminación a corral ($P = 0,04$). El peso de la canal caliente fue similar entre los tratamientos ($P = 0,69$), sin embargo, el rendimiento aumentó en AP en relación con los novillos BP ($P = 0,01$). La terniza del músculo *Longissimus* aumentó en AP en comparación con novillos BP después de 3 y 14 días ($P < 0,001$) de maduración. No se observaron diferencias en la degradación

de troponina-t ($P = 0,77$) y el contenido de colágeno ($P = 0,58$). El diámetro de las fibras musculares fue similar en novillos BP y AP ($P = 0,20$), lo que sugiere que el aumento del AOB en novillos AP podría deberse a hiperplasia muscular. Estos datos indicaron que el nivel de proteína durante la gestación media a tardía no afecta el crecimiento de la descendencia, pero tiene un impacto en la composición de la canal y la calidad de la carne de los novillos.

Palabras clave: programación fetal, subnutrición, descendencia, crecimiento, componentes de la canal

ABSTRACT

The objective of this study was to determine whether crude protein intake during late gestation affect growth, carcass characteristics and meat quality of steer progeny. At 134 ± 14 days prepartum, 68 multiparous Angus cows were blocked by BW and expected calving date and randomly assigned to low protein level (LP, 6% CP) or high protein level (HP, 12% CP). After calving, cows were managed together on improved pastures among lactation. After weaning at 219 ± 13 days of age, calves were managed on native pastures up to 687 ± 13 days of age and then placed in feedlot for 83 days before slaughter. Protein concentration on maternal diet had no influence on BW and growth rate during rearing or finishing phases ($P > 0.10$). Rib fat thickness of the steers was not affected ($P = 0.38$) by maternal nutrition treatments, however, LM area was greater in HP steers than LP steers

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Cuenca del Salado, Argentina.

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Balcarce, Argentina.

³ Departamento de Ciencias Animales y Veterinarias, Universidad de Clemson, Carolina del Sur, Estados Unidos de América.

⁴ Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Treinta y Tres, Uruguay.

⁵ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

at feedlot entrance ($P = 0.01$) and at the end of the finish phase ($P = 0.04$). Hot carcass weight was similar between treatments ($P = 0.69$), however, dressing increased in HP in relation to LP steers ($P = 0.01$). *Longissimus* muscle tenderness increased in HP compared to LP steers after 3 and 14 days ($P < 0.001$) of maturation. No differences were observed in troponin-t degradation ($P = 0.77$) and collagen content ($P = 0.58$). The diameter of the muscle fibers was similar in LP and HP steers ($P = 0.20$), suggesting that the increase of LM area in HP steers could be due to muscle hyperplasia. These data indicated that the level of protein during medium to late gestation does not affect offspring growth, but has an impact on the carcass composition and meat quality of the steers'.

INTRODUCCIÓN

Los rodeos de cría en Argentina se manejan bajo condiciones de pastoreo extensivo. La calidad de los forrajes a menudo es pobre, particularmente durante el invierno, lo que lleva a muchas vacas a sufrir períodos de desnutrición durante la segunda mitad de la gestación. La segunda mitad de gestación es un período crítico para el desarrollo muscular, adiposo y del tejido conectivo en los fetos; por lo tanto, la restricción de nutrientes durante este período puede alterar las características de la canal y la calidad de la carne de la descendencia (Du *et al.*, 2010). Estudios previos sobre vacas de carne nutricionalmente restringidas durante la gestación media o tardía han reportado resultados inconsistentes en la composición de la canal de la descendencia. La descendencia de las vacas que pastorearon forraje de baja calidad (campo natural) tuvieron un menor peso de la canal caliente (PCC) y grasa dorsal GD que la descendencia de vacas que pastorearon pasturas mejoradas (Underwood *et al.*, 2010). Cuando las vacas se suplementaron tres veces por semana con proteína cruda durante la gestación tardía, no se encontraron diferencias en el PCC y GD de la descendencia (Stalker *et al.*, 2006; Larson *et al.*, 2009). Los experimentos mencionados anteriormente no controlaron un componente

específico de la dieta ni la ingesta total de materia seca, por lo que no se pudo llegar a una conclusión clara sobre el efecto del nivel de proteína en la dieta durante la gestación tardía sobre el desempeño de la progenie y la calidad de la canal o la carne. Teniendo en cuenta la importancia de la nutrición materna durante la gestación media a tardía en el desarrollo del músculo, la grasa y el tejido conectivo, el propósito de este estudio fue determinar la influencia de la concentración de proteínas en la dieta durante la gestación media a tardía de vacas de carne en las características de la canal y la calidad de la carne

MATERIALES Y MÉTODOS

Todos los procedimientos utilizados en este estudio fueron aprobados por el Comité Institucional de Cuidado y Uso de Animales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (CICUAE INTA - CERBAS; Aprobación No. 87).

Animales

Ciento veinte vacas multíparas Angus lactantes se sincronizaron con un dispositivo de liberación lenta de progestágeno (Cronipres®, Biogénesis-Bagó, Argentina) durante 7 días, y al retirar el dispositivo se inyectaron 500 µg de cloprostenol (Ciclase DL®, Syntex, Argentina) y 2 mg de benzoato de estradiol (Benzoato de Estradiol Syntex®, Argentina). Se realizó inseminación artificial (IA) a las 48 h después de la inyección de estradiol, utilizando semen de un solo padre Angus. Quince días después de la IA, se usó un solo toro Angus durante un período de servicio natural de 15 días. Sesenta y ocho vacas preñadas por IA y servicio natural fueron identificadas por ultrasonido a los 30 días después del final del período de servicio natural. Durante la gestación temprana y media, las vacas preñadas fueron manejadas en pasturas mejoradas. A 134 ± 14 días de gestación, las vacas fueron estratificadas por PV y fecha esperada de parto en 24 corrales. Los corrales se asignaron a una dieta baja en proteínas (BP) o alta en proteínas

(AP) para proporcionar un 6% o 12% de PC en la dieta. La dieta BP estuvo compuesta por 89% de silaje de maíz y 2% de premezcla mineral para proporcionar un estimado de 100% de requerimientos de EN y 64% de CP (NRC, 2000). La dieta AP consistió en 70% de silaje de maíz, 10% de pellet de girasol, 1% de urea y 2% de premezcla mineral para proporcionar un 100% de requerimientos de EN y 121% de CP (NRC, 2000). A todas las vacas se les permitió parir de forma natural y la fecha de nacimiento de los machos varió del 22 de julio al 5 de septiembre (fecha media de nacimiento = 6 de agosto). Un total de 28 terneros machos (BP = 15 terneros; AP = 13 terneros) nacieron de vacas preñadas y todos los corrales tenían al menos un ternero macho. Se registró el peso vivo de los terneros dentro de las 24 h posteriores al parto. Después del parto, las vacas y sus terneros (machos y hembras) se manejaron como un grupo en pasturas de festuca hasta el destete cuando los terneros machos tenían 219 ± 13 días de edad.

Al destete, se separaron 28 terneros machos de las terneras. Durante el período de recría, los novillos BP y AP se mantuvieron como un grupo en campo natural hasta los 687 ± 13 días de edad, cuando los novillos se colocaron en corrales individuales (10 x 20 m) y se alimentaron con una dieta de terminación *ad libitum* (Cuadro 1) por 84 días. El peso corporal se registró al comienzo de la fase de recría y al inicio y al final de la fase de terminación, después de un ayuno de 12 h. Se registraron mediciones de ultrasonido (Aquila pro, Esaote Europe B.V. Maastricht, NL; sonda de 3.5 MHz) para determinar el espesor de GD y el AOB al comienzo y al final de la fase de terminación. El momento de faena se determinó cuando los novillos alcanzaron un promedio de 0,7 cm de espesor de GD. La ingesta de materia seca se determinó 3 veces por semana calculando la diferencia entre el alimento ofrecido y el remanente durante la fase de terminación.

Cuadro 1. Composición de nutrientes en la dieta de terminación.

Ítem	%
Ingrediente, % de MS	
Maíz entero	75
Silaje de maíz	10
Suplemento proteico	15
Composición de la dieta (%)	
MS	88,4
PC	13,1
TND	75,9
FDN	15,5
FDA	6,7
Extracto etéreo	4,4

Características de la carcasa y recolección de muestras

Después de 24 h sin alimento, se pesaron los novillos y se transportaron a un matadero comercial (95 km), donde se les realizó un ayuno con libre acceso al agua durante 24 h antes del sacrificio. Todos los novillos fueron sacrificados en un solo grupo. Veinte minutos después del sacrificio, se registró el PCC y se recogió una muestra de tejido adiposo subcutáneo (1,5 cm x 1,5 cm) y tejido del músculo *Longissimus* (1 cm x 1 cm) del lado izquierdo de la carcasa a 10 cm de la línea media en la 9a costilla. Las muestras de tejido se procesaron y fijaron en paraformaldehído al 4% para análisis histológico. A las 3 y 24 h después del sacrificio, se registraron el pH y la temperatura de la carcasa. Se retiró un bloque de bife del lado izquierdo de la carcasa cortando entre la novena y la decimotercera costilla. Los bloques se transportaron al Laboratorio de Calidad de la Carne en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Balcarce (BA, Argentina), y se almacenaron a 4°C hasta su procesamiento un día después. Todo el bloque de bifes se separó en grasa subcutánea, músculo *Longissimus*, grasa y hueso, y se pesó cada sección.

Fuerza de corte Warner-Bratzler

Se extrajeron dos bifés de músculo *Longissimus* de 2,5 cm de grosor del bloque y se asignaron aleatoriamente a uno de los dos períodos de maduración (3 o 14 días) para el análisis de la fuerza de corte Warner-Bratzler (WBSF). El análisis de WBSF se realizó de acuerdo con las pautas de AMSA (1995). Los filetes se descongelaron durante la noche a 4°C y se cocinaron en una parrilla eléctrica (Farberware, Bronx, NY, EE.UU.) A una temperatura interna de 71°C. La temperatura interna máxima se registró para cada bife usando un termómetro digital multiscan (termómetro de escaneo, Digi-Sense, Cole Parmer, Vernon Hills, IL, EE.UU.). Los bifés cocidos se enfriaron a temperatura ambiente y se retiraron diez cilindros en paralelo a la fibra muscular utilizando un dispositivo de extracción de cilindros de 1,27 cm de diámetro. La fuerza de corte máxima se midió con una máquina Warner-Bratzler (GR Manufacturing CO., Manhattan, KS, EE. UU.) Equipada con un medidor de fuerza digital (BFG500N, Quantrol™, Dillon / Quality Plus, Inc., Kansas City, MO, EE. UU.), utilizando una velocidad de 200 mm / min.

Histología

El músculo *Longissimus* y las muestras de tejido adiposo subcutáneo se seccionaron (10 um de espesor) usando un microtomo Leica RM2125RT (Leica Microsystems Inc., Bannockburn, IL, EE. UU.). Las secciones se tiñeron con hematoxilina / eosina. Las imágenes digitales se tomaron con una cámara digital (PowerShot 450, Canon, Tokio, Japón) montada en un microscopio óptico (nivel de aumento de 40X; Olympus CX31, Tokio, Japón). La fibra muscular y el diámetro del adipocito se determinaron a partir de 5 campos por animal utilizando el software Image J (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EE. UU.). Los campos se eligieron de modo que el campo estuviera compuesto principalmente de fibras musculares o adipocitos de forma regular. El diámetro del adipocito se midió promediando el diámetro más ancho y el diámetro más estrecho para al menos 200

células por animal. El diámetro de la fibra muscular se midió en la sección más corta de las fibras para al menos 200 fibras por animal. El área de fibra muscular se calculó a partir del diámetro de la fibra y el número total de fibra del músculo *Longissimus* se estimó como: $\text{área LM} / \text{área de fibra}$, mientras que la relación entre espesor de grasa y diámetro de adipocito se usó como un indicador del número absoluto de adipocitos.

Longitud de sarcómero

La longitud del sarcómero se determinó en muestras de músculo *Longissimus* de acuerdo con el procedimiento descrito por Cross, West y Dutson (1981) utilizando un método de difracción láser de helio-neón. Se midieron veinte fragmentos de miofibrillas de cada muestra para determinar la longitud promedio del sarcómero.

Contenido de colágeno total y soluble

El colágeno total, la fracción soluble e insoluble se evaluó en muestras de músculo *Longissimus*. Se utilizaron diez gramos de músculo para el tratamiento térmico de acuerdo con el procedimiento descrito por Latorre *et al.* (2016). El residuo sólido y los fluidos sobrenadantes se separaron por centrifugación (2.324 x g 10 min a 25 ° C) y se secaron a 60 ° C. Las fracciones se hidrolizaron en 5 ml de HCl (6N) a 110 ° C durante 16-20 h. Las fracciones se neutralizaron y las concentraciones de hidroxiprolina se determinaron por determinación espectrofotométrica de acuerdo con el procedimiento descrito por Bergman y Loxley (1963). El porcentaje de colágeno soluble se calculó dividiendo el contenido de hidroxiprolina de la fase soluble por la hidroxiprolina total tanto en la fase soluble como en el residuo sólido y multiplicándolo por 100.

Troponina -T (tn-T)

Las muestras de músculo *Longissimus* que se maduraron previamente durante 3 días se usaron para el análisis de degradación de Tn-T. La Tn-T intacta se determinó de acuer-

do con el procedimiento descrito por Huff-Loneragan *et al.* (1996) usando procedimientos de transferencia Western. Se consideró que las bandas de pesos moleculares de 41,7 y 39,9 kDa estaban Tn-T intactos y la suma de sus intensidades se cuantificó de acuerdo con el procedimiento descrito por Weaver *et al.* (2008). El contenido de Tn-T intacto se estimó expresando la densidad de la banda de Tn-T intacta de cada muestra en una transferencia dada en relación con la densidad de la banda de Tn-T intacta del patrón de referencia interno en la misma transferencia.

Análisis estadístico

Las vacas fueron bloqueadas según PV (cuatro bloques) y la fecha de parto prevista (dos bloques). Los corrales de las vacas se consideraron la unidad experimental y todos los datos de la descendencia, incluidos el crecimiento, la medición de la canal, la calidad de la carne, el diámetro de la fibra muscular y de los adipocitos se analizaron utilizando el procedimiento MIXED de SAS (Versión 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC, EE. UU.). El tratamiento y el bloqueo fueron el efecto fijo y el corral en bloque fue el efecto aleatorio. Los datos se presentan como medias de mínimos cuadrados y MSE, y las diferencias se consideran significativas a $P \leq 0,05$, con una tendencia a $0,05 < P \leq 0,10$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comienzo del período de recría, el peso corporal, el espesor de GD y el AOB fueron similares entre los tratamientos ($P > 0,10$; Cuadro 2), lo que demuestra que la concentración de proteínas en la dieta materna durante la gestación media a tardía no tuvo ningún efecto sobre el crecimiento animal. Al final del período de cría, el peso corporal, GDP y el espesor de GD no fueron diferentes entre los tratamientos ($P > 0,10$). Sin embargo, los novillos AP tenían un AOB mayor que los novillos nacidos de vacas BP ($P = 0,01$). La performance y la composición de la canal durante la recría apenas se han descrito en

los estudios de programación fetal en ganado vacuno y solo unos pocos estudios han registrado ganancia diaria de peso. Long *et al.* (2010) no encontraron diferencias en la GDP de novillos cuyas madres estuvieron expuestas al 55% de restricción de energía durante la gestación temprana en comparación con los novillos cuyas madres fueron alimentadas para cumplir con los requisitos. Ovejas expuestas a una restricción del 50% de los requerimientos de energía desde el día 110 de gestación hasta término tuvieron corderos con una tasa de crecimiento similar al año de edad (Gardner *et al.*, 2005).

Los novillos de ambos tratamientos se terminaron con un peso corporal y un espesor de GD similar ($P > 0,10$; Cuadro 2). Esto es consistente con estudios previos de Larson *et al.* (2009) y Stalker *et al.* (2006) quienes evaluaron el desempeño de la progenie de vacas suplementadas con proteínas durante la gestación media a tardía en comparación con la progenie de vacas no suplementadas. En contraste, Greenwood y Cafe (2007) mostraron que el ganado con bajo peso al nacer debido a la desnutrición severa durante la gestación había reducido la ganancia diaria y el peso corporal durante el sacrificio. Además, Underwood *et al.* (2010) observaron que los novillos nacidos de vacas que pastaban campo natural habían reducido el crecimiento diario y el peso corporal comparado con los novillos de vacas que pastoreaban pasturas mejoradas durante la gestación tardía. Los resultados contradictorios en la literatura pueden atribuirse a las diferencias entre los estudios en el grado, restricción de nutrientes o el tipo de nutrientes específicos manipulados. La mayoría de los estudios con suplementación proteica tienen efectos confundidos con el posible aumento de la ingesta de materia seca y, por lo tanto, el aumento resultante en la ingesta de energía debido al aumento de la proteína de la dieta, lo que no ocurrió en nuestro estudio, ya que el contenido energético de la ración fue el mismo entre nuestros tratamientos.

Cuadro 2. Efecto de la concentración de proteína dietaria materna durante la gestación tardía sobre el desempeño en recría y terminación de los novillos.

Ítem	Tratamientos		P-valor
	BP	AP	
Periodo de recría			
PV inicial, kg	259,7 ± 6,9	265,4 ± 8,3	0,61
PV final, kg	371,0 ± 7,4	371,8 ± 8,8	0,94
GDP kg/d	0,355 ± 0,02	0,347 ± 0,02	0,75
GD inicial ³ , cm	0,20 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,96
GD final ³ , cm	0,33 ± 0,02	0,36 ± 0,03	0,38
AOB inicial ³ , cm ²	39,3 ± 1,2	39,4 ± 1,5	0,95
AOB final ³ , cm ²	48,55 ± 1,29	53,56 ± 1,47	0,01
Periodo de terminación			
PV final, kg	493,6 ± 12,5	480,5 ± 16,0	0,52
GD final ³ , cm	0,75 ± 0,05	0,75 ± 0,06	0,97
AOB final ³ , cm ²	63,74 ± 1,65	69,39 ± 2,22	0,04
GDP kg/d	1,45 ± 0,10	1,29 ± 0,23	0,31
Consumo MS kg/d	11,56 ± 0,66	10,45 ± 0,68	0,27
Conversión kg/kg	7,52 ± 0,58	7,98 ± 0,60	0,59

El PCC, el espesor de GD y el marmóreo no mostraron diferencias entre los tratamientos ($P > 0,10$; Cuadro 3). Estudios previos realizados con vacas para carne nutricionalmente restringidas durante la gestación media a tardía han demostrado inconsistencias en los resultados de composición de la carcasa de la descendencia. Los novillos hijos de vacas que pastorearon forraje de baja calidad (campo natural) tuvieron una disminución del PCC y el espesor de GD en comparación con la descendencia de las vacas que pastorearon pasturas mejoradas (Underwood *et al.*, 2010). Cuando las vacas fueron suplementadas tres veces por semana con proteína cruda durante la gestación tardía, no se encontraron diferencias en la descendencia en PCC y GD (Stalker *et al.*, 2006; Larson *et al.*, 2009). Aunque los novillos en nuestro estudio muestran PV y PCC similares en el momento del sacrificio, el porcentaje de rendimiento fue menor ($P = 0,01$) para los novillos BP en comparación con los novillos AP. Aunque no se realizó un análisis completo

de la composición corporal en este experimento, hipotetizamos que el porcentaje de rendimiento más bajo podría atribuirse al aumento de la deposición de grasa abdominal en novillos BP. Esto se debe a la práctica de eliminar la grasa abdominal como parte del proceso de evisceración en las instalaciones de sacrificios en Argentina, eliminando así el peso de la grasa abdominal antes de que se registrara el PCC. La investigación en ovinos muestra que los corderos hijos de ovejas nutricionalmente restringidas han aumentado la adiposidad, principalmente en los depósitos de grasa renal y mesentérica, sin embargo, este efecto sigue sin estar claro en la especie bovina (Zhu *et al.*, 2006; Ford *et al.*, 2007).

Para determinar si la composición de la canal se vio afectada por el tratamiento nutricional, se calculó el peso proporcional del músculo *Longissimus*, grasa subcutánea y hueso a partir del bloque de bife completo que se recolectó de cada canal. La concentración de proteína preparto no afectó el porcentaje

de músculo *Longissimus* ($P = 0,29$; Cuadro 3), grasa subcutánea ($P = 0,55$) o hueso ($P = 0,75$); sin embargo, la relación entre gra-

sa subcutánea y músculo *Longissimus* tendió ($P = 0,08$) a ser mayor en novillos BP en comparación con novillos AP.

Cuadro 3. Efecto de la concentración de proteína dietaria materna durante la gestación tardía sobre características de la canal de novillos.

Item	Tratamientos		P-valor
	BP	AP	
PCC, kg	284,3 ± 7,7	289,5 ± 9,9	0,69
Rendimiento, %	57,6 ± 0,6	60,2 ± 0,8	0,01
GD, cm	0,67 ± 0,07	0,57 ± 0,08	0,38
Marmoleo	455 ± 15	435 ± 20	0,44
Bloque de bife			
<i>Longissimus</i> , %	33,6 ± 0,7	34,1 ± 0,9	0,29
Grasa subcutánea, %	8,0 ± 0,5	7,2 ± 0,7	0,55
Hueso, %	24,2 ± 0,9	25,2 ± 1,2	0,75
Grasa sub. por <i>Longissimus</i>	25,6 ± 1,5	21,1 ± 1,8	0,08
Fuerza de corte			
3d, N	46,09 ± 0,88	42,07 ± 1,07	<0,001
14d, N	29,91 ± 0,49	27,55 ± 0,58	<0,001

El pH de la canal de los de novillos BP y AP fue similar a las 3 h *post mortem* ($6,27 \pm 0,06$ vs. $6,18 \pm 0,08$, respectivamente; $P = 0,39$) y 24h *post mortem* ($5,71 \pm 0,02$ vs. $5,70 \pm 0,02$, respectivamente; $P = 0,74$). La temperatura de las canales de novillos BP y AP fue similar a las 3 h *post mortem* ($26,2 \pm 0,6$ vs. $25,9 \pm 0,7$, respectivamente; $P = 0,79$) y 24h *post mortem* ($8,0 \pm 0,01$ vs. $7,9 \pm 0,01$, respectivamente; $P = 0,18$).

La ingesta de proteínas en la dieta durante la gestación media o tardía no afectó el marmoleo de los novillos ($P = 0,44$; Cuadro 3). Además, el extracto de etéreo y la humedad del músculo *Longissimus* fue similar entre los novillos BP y AP ($P > 0,10$; Cuadro 4). Estos resultados respaldan estudios previos en vacas que fueron restringidas durante la gestación tardía (Underwood *et al.*, 2010; Mulliniks *et al.*, 2016; Stalker *et al.*, 2006; Shoup *et al.*, 2015), gestación media (Mohrhauser *et al.*, 2015) o gestación temprana (Long *et al.*, 2010). Se ha planteado la hipótesis de que la etapa fetal es el período de desarrollo más eficiente

para aumentar el marmoleo en la carne de la descendencia (Du *et al.*, 2010). Sin embargo, hay evidencia que indica que la hiperplasia de adipocitos no solo ocurre durante la vida fetal, también es importante durante la vida postnatal y puede surgir durante la vida adulta en el ganado. En el feto bovino, la aparición cronológica del tejido adiposo depende de la localización anatómica. El adipocito perirrenal aparece a los 80 días de gestación, el tejido adiposo subcutáneo e intermuscular aparece a partir de los 180 días de gestación, mientras que la grasa intramuscular solo aparece después del nacimiento (Vernon, 1980). El crecimiento postnatal a través de la hiperplasia de tejido adiposo depende de la ubicación anatómica, siendo más alto en el tejido intramuscular que perirrenal, omental o subcutánea. Por lo tanto, la nutrición postnatal temprana probablemente podría tener más efecto que la programación fetal en la adipogénesis intramuscular porque la ventana crítica de adipogénesis intramuscular es mayor después del parto (Bonnet *et al.*, 2010; Du *et al.*, 2013; Mangrum *et al.*, 2016).

Cuadro 4. Efecto de la concentración de proteína dietaria materna durante la gestación tardía sobre análisis proximal del músculo *Longissimus* de novillos.

Ítem	Tratamientos		P-valor
	BP	AP	
Humedad, %	72,4 ± 0,3	72,8 ± 0,3	0,32
Proteína, %	21,6 ± 0,8	21,1 ± 0,7	0,41
Extracto etéreo, %	4,6 ± 0,4	4,0 ± 0,5	0,44

Para determinar si las diferencias observadas en el AOB durante las fases de recría y terminación se debieron a hiperplasia muscular o hipertrofia, se midió el diámetro de las fibras musculares. Los diámetros de las fibras en el músculo *Longissimus* fueron similares ($P = 0,19$; Cuadro 5) entre los tratamientos, lo que indica que el aumento del AOB en novillos AP puede deberse a un mayor número de fibras musculares. El número total estimado de fibras musculares fue mayor ($P = 0,03$) para los novillos AP en comparación con los novillos BP. Se ha postulado que el número de fibras musculares se fija desde el final del segundo tercio de la gestación (180 días), lo que sugiere que la tercera generación de fibras que aparece más tarde no es cuantitativamente importante en esta especie (Picard *et al.*, 2002). Sin embargo, la influencia de la nutrición fetal en la mioclogénesis apenas se ha documentado en la especie bovina. Solo en el estudio de Long *et al.* (2010) se informó una mayor área de fibra muscular en novillos de vacas expuestas a una ingesta de nutrientes restringida durante la gestación temprana sin una diferencia en la composición de la canal, lo que podría interpretarse como una disminución en el número de fibras ya que el peso muscular fue similar entre los tratamientos.

Para determinar si el nivel de proteína durante la gestación media o tardía afectó la adipogénesis, investigamos si el tamaño de los adipocitos subcutáneos estaba alterado. El diámetro del adipocito subcutáneo fue similar ($P = 0,66$; Cuadro 5) para novillos BP y AP. Como el grosor de la grasa subcutánea y el diámetro de los adipocitos subcutáneos fueron similares entre los tratamientos, planteamos la hipótesis de que el número de adipocitos tampoco se vio afectado por los tratamientos (relación de espesor de la grasa / diámetro del adipocito, $P = 0,44$). La adipogénesis de la grasa subcutánea ocurre entre la gestación tardía y la vida postnatal temprana en los animales rumiantes (Bonnet *et al.*, 2010), por lo que la manipulación de la nutrición en esta etapa podría afectar el número total de adipocitos y la cubierta final de grasa subcutánea. Underwood *et al.* (2010) sugirieron que un aumento del espesor de GD en los hijos de vacas alimentadas en un plano mejorado de nutrición durante la gestación tardía puede atribuirse a un mayor número de adipocitos. La falta de efecto sobre la cobertura de grasa subcutánea en nuestro estudio podría atribuirse a que solo la proteína está restringida, no así la energía, ya que todas las vacas fueron alimentadas para satisfacer los requisitos de energía.

Cuadro 5. Efecto de la concentración de proteína dietaria materna durante la gestación tardía sobre el diámetro de fibras musculares y adipositos de los novillos.

Ítem	Tratamientos		P-valor
	BP	AP	
Diámetro de adipositos (μm)	90,5 \pm 3,1	86,5 \pm 4,0	0,66
GD/diámetro de adipositos	0,083 \pm 0,005	0,090 \pm 0,007	0,44
Diámetro de fibra muscular (μm)	43,1 \pm 2,1	38,9 \pm 2,3	0,19
Número total de fibras	4,77x10 ⁶ \pm 0,38 x10 ⁶	6,22x10 ⁶ \pm 0,49 x10 ⁶	0,03

Los bifes de novillos con alto contenido de proteínas tenían valores de fuerza de corte más bajos que los novillos BP después de 3 días o 14 días ($P < 0,001$) de período de maduración *post mortem*. Pocos estudios han evaluado el efecto de la nutrición materna bovina sobre la fuerza de corte de la carne o la terneza y los resultados no son consistentes (Underwood *et al.*, 2010; Mohrhauser *et al.*, 2015; Alvarenga *et al.*, 2016). La longitud del sarcómero tendió a

ser mayor ($P = 0,07$; Cuadro 6) para novillos AP que novillos BP. La cuantificación de troponina-T fue utilizada para determinar si la terneza durante la maduración *post mortem* en novillos AP se atribuyó al aumento de la degradación miofibrilar. El Inmunoblotting mostró que la cantidad de troponina-T degradada a los 2 días de almacenamiento *post mortem* no se vio afectada ($P = 0,77$) por el tratamiento nutricional de las madres (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la concentración de proteína dietaria materna durante la gestación tardía sobre largo de sarcómero, contenido de troponina-Tn-T colágeno en novillos.

Ítem	Tratamientos		P-valor
	BP	AP	
Largo de sarcómero, μm	2,08 \pm 0,01	2,10 \pm 0,01	0,07
Tn-T, %	2,49 \pm 0,76	2,23 \pm 0,54	0,77
Colágeno, mg/g tejido			
Total	2,49 \pm 0,18	2,34 \pm 0,18	0,58
Insoluble	1,96 \pm 0,20	1,91 \pm 0,20	0,87
Insoluble/Total	0,78 \pm 0,03	0,81 \pm 0,03	0,52

La generación de fibroblastos y tejido conectivo en el músculo esquelético fetal es altamente activa durante la gestación tardía (Du *et al.*, 2010). El tejido conectivo está compuesto principalmente de colágeno, que es el responsable de la dureza de la carne, sin embargo, hay investigaciones limitadas para confirmar que la desnutrición materna podría afectar la fibrogénesis en el músculo esquelético (Du *et al.*, 2013). En el estudio actual, el colágeno total, el colágeno insoluble y la relación de colágeno insoluble / total no se vieron influenciados ($P > 0,10$; Cuadro 6) por

la concentración de proteínas en la dieta materna durante la gestación tardía. Resultados similares fueron encontrados por Underwood *et al.* (2010) en la descendencia cuando se mejoró la dieta de las madres durante la gestación tardía. Por otro lado, Alvarenga *et al.* (2016) informaron que el bajo nivel de proteína durante el período de concepción y el primer trimestre de gestación en el ganado bovino puede aumentar la fuerza de corte y el contenido de colágeno en el músculo Semitendinoso, pero no en el músculo Longissimus.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que la concentración de proteínas en la dieta durante la gestación tardía puede afectar la composición de la canal de la descendencia sin efectos sobre el crecimiento durante las etapas de recría y terminación. La mejor calidad de canal de los novillos AP se asocia con un mayor rendimiento y un aumento del área de ojo de bife. Se observaron valores de fuerza de corte consistentemente disminuidos en la descendencia de las madres alimentadas con un mayor nivel de proteína. Sin embargo, los factores involucrados en estos resultados no se han revelado en este estudio. Se necesitan investigaciones más detalladas para revelar cómo los cambios de componentes específicos de la dieta materna pueden afectar el desarrollo fetal bovino; específicamente, miogénesis y fibrogénesis en el músculo esquelético. El bajo nivel proteico de la dieta materna, similar a lo que se podría encontrar con los sistemas de cría en Argentina, parece tener un impacto negativo en la calidad de la canal.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el Programa Nacional de Producción Animal (PNPA 1126023 y 1126024) del Instituto Nacional de Tecnología Agrícola, Argentina. Los autores desean agradecer a la Estación Experimental Cuenca del Salado por proporcionar los utilizados en el ensayo. Los autores también desean agradecer a María E. Latorre de CONICET, Departamento de Tecnología y Calidad de los Alimentos, Facultad de Ciencias Veterinarias, UNCPBA, Tandil, Argentina, por contribuir con el análisis de colágeno.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarenga, T. I. R. C.; Copping, K. J.; Han, X.; Clayton, E. H.; Meyer, R. J.; Rodgers, R. J.; McMillen, I. C.; Perry, V. E. A.; Geesink, G.** 2016. The influence of peri-conception and first trimester dietary restriction of protein in cattle on meat quality traits of entire male progeny. *Meat Science*, 121, 141–147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.006>
- Bergman, I., Loxley, R.** 1963. Two Improved and Simplified Methods for the Spectrophotometric Determination of Hydroxyproline. *Analytical Chemistry*, 35(12), 1961–1965. doi: <https://doi.org/10.1021/ac60205a053>
- Bonnet, M., Cassar-Malek, I., Chilliard, Y., Picard, B.** 2010. Ontogenesis of muscle and adipose tissues and their interactions in Ruminants and other species. *Animal*, 4(7), 1093–1109. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731110000601>
- Cross, H. R., West, R. L., Dutson, T. R.** 1981. Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef *Semiteminosus* muscle. *Meat Science*, 5(4), 261–266. doi: [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(81\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(81)90016-4)
- Du, M., Huang, Y., Das, A. K., Yang, Q., Duarte, M. S., Dodson, M. V., Zhu, M. J.** 2013. *Meat Science* and muscle Biology Symposium: Manipulating mesenchymal progenitor cell differentiation to optimize performance and carcass value of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 91(3), 1419–1427. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5670>
- Du, M., Tong, J., Zhao, J., Underwood, K. R., Zhu, M., Ford, S. P., Nathanielsz, P. W.** 2010. Fetal programming of skeletal muscle development in Ruminant animals. *Journal of Animal Science*, 88(13 Suppl). doi: 10.2527/jas.2009-2311

- Ford, S. P., Hess, B. W., Schwope, M. M., Nijland, M. J., Gilbert, J. S., Vonnahme, K. A., Means, J. W., Han, H., Nathanielsz, P. W.** 2007. Maternal undernutrition during early to mid-gestation in the ewe results in altered growth, adiposity, and glucose tolerance in male offspring. *Journal of Animal Science*, 85(5), 1285–1294. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2005-624>
- Gardner, D. S., Tingey, K., Van Bon, B. W. M., Ozanne, S. E., Wilson, V., Dandrea, J., Keisler, D. H., Stephenson, T., Symonds, M. E.** 2005. Programming of glucose-insulin metabolism in adult sheep after maternal undernutrition. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 289, R947–R954. doi: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00120.2005>
- Greenwood, P. L.; Cafe, L. M.** 2007. Prenatal and pre-weaning growth and nutrition of cattle: Long-term consequences for beef production. *Animal*, 1(9), 1283–1296. doi: <https://doi.org/10.1017/S175173110700050X>
- Huff-Lonergan, E., Mitsuhashi, T., Parrish, F. C., Robson, R. M.** 1996. Sodium Dodecyl Sulfate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis and Western Blotting Comparisons of Purified Myofibrils and Whole Muscle Preparations for Evaluating Titin and Nebulin in Post-mortem Bovine Muscle. *Journal of Animal Science*, 74(4), 779–785. doi: <https://doi.org/10.2527/1996.744779x>
- Larson, D. M., Martin, J. L., Adams, D. C., Funston, R. N.** 2009. Winter grazing system and supplementation during late gestation influence performance of beef cows and steer progeny. *Journal of Animal Science*, 87(3), 1147–1155. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1323>
- Latorre, M. E., Lifschitz, A. L., Purslow, P. P.** 2016. New recommendations for measuring collagen solubility. *Meat Science*, 118, 78–81. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.019>
- Long, N. M., Prado-Cooper, M. J., Krehbiel, C. R., Desilva, U., Wettemann, R. P.** 2010. Effects of nutrient restriction of bovine dams during early gestation on postnatal growth, carcass and organ characteristics, and gene expression in adipose tissue and muscle. *Journal of Animal Science*, 88(10), 3251–3261. doi: [doi:10.2527/jas.2009-2512](https://doi.org/10.2527/jas.2009-2512)
- Lopez Valiente, S., Maresca, S., Rodríguez, A. M., Palladino, R. A., Lacau-Mengido, I., Long, N. M., Quintans, G.** 2018. Effect of protein restriction of Angus cows during late gestation : Subsequent reproductive performance and milk yield. *The Professional Animal Scientist*, 34(3):261-268. doi: <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01701>
- Mangrum, K. S., Tuttle, G., Duckett, S. K., Sell, G. S., Krehbiel, C. R., Long, N. M.** 2016. The effect of supplementing rumen undegradable unsaturated fatty acids on marbling in early-weaned steers. *Journal of Animal Science*, 94(2), 833–844. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9809>
- Maresca, S., Lopez Valiente, S., Rodriguez, A. M., Long, N. M., Pavan, E., Quintans, G.** 2018. Effect of protein restriction of bovine dams during late gestation on offspring post-natal growth, glucose-insulin metabolism and IGF-1 concentration. *Livestock Science*, 212, 120–126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.04.009>
- Mohrhauser, D. A., Taylor, A. R., Underwood, K. R., Pritchard, R. H., Wertz-Lutz, A. E., Blair, A. D.** 2015. The influence of maternal energy status during midgestation on beef offspring carcass characteristics and meat quality. *Journal of Animal Science*, 93(2), 786–793. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8567>
- Mulliniks, J. T., Sawyer, J. E., Harrelson, F. W., Mathis, C. P., Cox, S. H., Löest, C. A., Petersen, M. K.** (2016). Effect of late gestation bodyweight change and condition score on progeny feedlot performance. *Animal Production Science*, 56(12), 1998–2003. doi: <https://doi.org/10.1071/AN15025>

Picard B, Lefaucheur L, Berri C, Duclos, J. M. 2002. Muscle fibre ontogenesis in farm animal species. *Reproduction Nutrition Development*, 42, 415–431. doi: <https://doi.org/10.1051/rnd:2002035>

Shoup, L. M., Wilson, T. B., González-Peña, D., Ireland, F. A., Rodríguez-Zas, S., Felix, T. L., Shike, D. W. 2015. Beef cow prepartum supplement level and age at weaning: II. Effects of developmental programming on performance and carcass composition of steer progeny. *Journal of Animal Science*, 93(10), 4936–4947. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8565>

Stalker, L. A., Adams, D. C., Klopfenstein, T. J., Feuz, D. M., Funston, R. N. 2006. Effects of pre- and postpartum nutrition on *Reproduction* in spring calving cows and calf feedlot performance. *Journal of Animal Science*, 84(9), 2582–2589. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2005-640>

Underwood, K. R., Tong, J. F., Price, P. L., Roberts, A. J., Grings, E. E., Hess, B. W., Means, W. J., Du, M. 2010. Nutrition during mid to late gestation affects growth, adipose tissue deposition, and tenderness in cross-bred beef steers. *Meat Science*, 86(3), 588–593. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.008>

Vernon, R. G. 1980. Lipid metabolism in the adipose tissue of *Ruminant* animals. *Progress in Lipid Research*, 19(1–2), 23–106. doi: [doi:10.1016/0163-7827\(80\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0163-7827(80)90007-7)

Weaver, A. D., Bowker, B. C., Gerrard, D. E. 2008. Sarcomere length influences post-mortem proteolysis of excised bovine *Semitendinosus* muscle. *Journal of Animal Science*, 86(8), 1925–1932. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0741>

Zhu, M. J., Ford, S. P., Means, W. J., Hess, B. W., Nathanielsz, P. W., Du, M. 2006. Maternal nutrient restriction affects properties of skeletal muscle in offspring. *Journal of Physiology*, 575(1), 241–250. doi: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.112110>