



INSTITUTO  
NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN  
AGROPECUARIA

URUGUAY



# Primer Seminario Técnico de PROGRAMACIÓN FETAL

Noviembre, 2019

SERIE  
TÉCNICA **252**  
INIA



---

# Primer Seminario Técnico de PROGRAMACIÓN FETAL

**Editores:** Graciela Quintans\*  
Maria Iewdiukow\*

**Título:** Primer Seminario Técnico de PROGRAMACIÓN FETAL

**Editores:** Graciela Quintans; María Iewdiukow

Serie Técnica N° 252

© 2019, INIA

**doi:** <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.252>

**ISBN:** 978-9974-38-435-4

**e-ISBN:** 978-9974-38-436-1

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA  
Andes 1365, Piso 12. Montevideo, Uruguay.  
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

# Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

---

## Integración de la Junta Directiva

**D.M.T.V., Ph.D. José Luis Repetto** - Presidente

**Ing. Agr., Mag. Mariana Hill** - Vicepresidenta



**Ing. Agr. Rafael Secco**



**Ing. Agr. Alberto Bozzo**

**Ing. Agr. Alejandro Henry**





# CONTENIDO

## Página

Programación fetal: una mirada más allá de lo evidente. <i>G. Quintans</i> .....	1
Los orígenes de la programación o desarrollo fetal en ganado vacuno y algunas áreas de investigación a futuro. <i>K. J. McCarty; N. M. Long</i> .....	3
<b>CAPÍTULO I: EFECTO DE LA RESTRICCIÓN NUTRICIONAL DURANTE LA GESTACIÓN SOBRE LA PROGENIE EN VACUNOS</b> .....	<b>21</b>
Efecto de la restricción proteica de vacas Angus durante la gestación tardía: rendimiento reproductivo posterior y producción de leche. <i>S. López Valiente; S. Maresca; A. M. Rodríguez; R. A. Palladino; I. M. Lacau-Mengido; N. M. Long; G. Quintans</i> .....	<b>23</b>
Efecto de la restricción proteica de vacas durante la gestación tardía sobre el crecimiento posnatal, el metabolismo de glucosa - insulina y la concentración de IGF-1 de la descendencia. <i>S. Maresca; S.O. López Valiente; A. M. Rodríguez; N. M. Long; E. Pavan; G. Quintans</i> .....	<b>31</b>
Efecto de la restricción proteica en vacas multíparas durante la gestación media y tardía en el crecimiento y fertilidad de la progenie femenina. <i>S. López Valiente; S. Maresca; A.M. Rodríguez; N.M. Long; G. Quintans; R.A. Palladino</i> .....	<b>45</b>
Efecto de dos niveles de energía en el alimento de último tercio de gestación en bovinos para carne sobre el desempeño de la progenie al nacimiento y pubertad. <i>C. Batista; J.I. Velazco; F. Baldi; G. Banchemo; G. Quintans</i> .....	<b>53</b>
Influencia de la restricción proteica en el último tercio de gestación sobre el crecimiento, características de carcasa y calidad de carne de la descendencia. <i>S. Maresca; S. López Valiente; A.M. Rodriguez; L. M. Testa; N.M. Long; G. Quintans; E. Pavan</i> .....	<b>65</b>

Efectos de la alimentación materna durante el primer tercio de gestación sobre los rendimientos del conjunto vaca-ternero.  
*A. Sanz; I. Casasús; J. Ferrer; D. Villalba; A. Noya* ..... 77

**CAPÍTULO II: EFECTO DE LA RESTRICCIÓN NUTRICIONAL DURANTE LA GESTACIÓN SOBRE LA PROGENIE EN OVINOS** ..... 87

Realimentar las ovejas *ad libitum* luego de una restricción energética durante la mitad de la gestación no afectó el desempeño animal, el inicio de pubertad ni la tasa ovulatoria de las corderas.  
*G. Banchemo; F. Baldi; D. González; S. Luzardo; S. Fierro; G. Quintans* ..... 89

Efecto sobre el comportamiento productivo, reproductivo y la respuesta al desafío parasitario en corderas cuyas madres fueron esquiladas a los 50 días de gestación.  
*C. López-Mazz; F. Baldi; G. Quintans; P.R. Kenyon; M. Regueiro; A. Álvarez-Oxiley; G.E. Banchemo* ..... 99

Efectos de la subnutrición durante la gestación sobre el desarrollo del aparato reproductor del cordero.  
*A. Bielli; R. Pérez-Clariget* ..... 111

La esquila a los 50 días de gestación de ovejas en pastoreo afectó positivamente el peso corporal pero no parámetros reproductivos y de salud de los corderos machos durante los primeros 18 meses de edad.  
*C. López-Mazz; M. Regueiro; F. Baldi; G. Quintans; G. Banchemo* ..... 125

Una menor oferta de campo natural gestacional afecta el desarrollo muscular fetal-neonatal y repercute sobre el peso y la composición fibrilar en corderos pesados.  
*J. Ithurralde; M.J. Abud; P. Genovese; F. Corrales; R. Pérez-Clariget; A. Bielli*..... 135

Realimentar las ovejas *ad libitum* luego de una restricción energética durante la mitad de la gestación no afecta el desempeño animal, la eficiencia de conversión del alimento y la calidad de la carne de los corderos.  
*S. Luzardo; G. de Souza; D. González; G. Quintans; G. Banchemo* ..... 147



# ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Página

## **Los orígenes de la programación o desarrollo fetal en ganado vacuno y algunas áreas de investigación a futuro.**

Cuadro 1. Efecto de la subnutrición materna durante la gestación de vacas, sobre el crecimiento fetal, resultados publicados antes del año 2000.....	12
--	----

## **CAPÍTULO I: EFECTO DE LA RESTRICCIÓN NUTRICIONAL DURANTE LA GESTACIÓN SOBRE LA PROGENIE EN VACUNOS**

### **Efecto de la restricción proteica de vacas Angus durante la gestación tardía: rendimiento reproductivo posterior y producción de leche.**

Cuadro 1. Peso vivo y estado corporal durante el parto y posparto en vacas multíparas consumiendo dietas de bajo o alto contenido de proteína durante los 120 días previos al parto. ....	26
---	----

Cuadro 2. Producción y calidad de leche en vacas multíparas consumiendo dietas de bajo o alto contenido de proteína durante los 120 días previos al parto. ....	28
---	----

### **Efecto de la restricción proteica de vacas durante la gestación tardía sobre el crecimiento posnatal, el metabolismo de glucosa - insulina y la concentración de IGF-1 de la descendencia**

Cuadro 1. Efecto del nivel de proteína durante la gestación tardía sobre el peso y ganancia de peso de los terneros .....	35
---	----

Cuadro 2. Efecto del nivel de proteína durante la gestación tardía sobre la morfometría de los terneros al nacer. ....	36
--	----

Cuadro 3. Efecto del nivel de proteína durante la gestación tardía sobre la relación morfometría/peso al nacer .....	36
--	----

Figura 1. Efecto del nivel de proteína bajo o alto durante la gestación tardía sobre: la concentración de glucosa (a), insulina (b) e IGF-I (c) en la descendencia.....	37
---	----

**Efecto de la restricción proteica en vacas multíparas durante la gestación media y tardía en el crecimiento y fertilidad de la progenie femenina.**

Figura 1. Evolución del peso vivo (medias  $\pm$  SEM) de las vaquillonas hijas de madres no suplementadas (6% CP, línea discontinua) o suplementadas (12% CP, línea continua) con proteína durante la gestación tardía (tratamiento,  $P = 0,16$ ; tiempo,  $P < 0,001$ ; tratamiento x tiempo,  $P = 0,44$ )..... 48

Cuadro 1. Efecto del nivel de proteína en la dieta durante el la gestación tardía en la respuesta reproductiva de las hijas..... 49

**Efecto de dos niveles de energía en el alimento de último tercio de gestación en bovinos para carne sobre el desempeño de la progenie al nacimiento y pubertad.**

Cuadro 1. Peso vivo, ganancia diaria y edad a la pubertad de terneras hijas de vacas en alto y bajo plano nutricional en el último tercio de gestación ..... 57

**Influencia de la restricción proteica en el último tercio de gestación sobre el crecimiento, características de carcasa y calidad de carne de la descendencia.**

Cuadro 1. Composición de nutrientes en la dieta de terminación. .... 67

Cuadro 2. Efecto de la concentración de proteína dietaria maternal durante la gestación tardía sobre el desempeño en recría y terminación de los novillos. .... 70

Cuadro 3. Efecto de la concentración de proteína dietaria maternal durante la gestación tardía sobre características de la canal de novillos..... 71

Cuadro 4. Efecto de la concentración de proteína dietaria maternal durante la gestación tardía sobre análisis proximal del músculo *Longissimus* de novillos..... 72

Cuadro 5. Efecto de la concentración de proteína dietaria maternal durante la gestación tardía sobre el diámetro de fibras musculares y adipositos de los novillos..... 73

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.....	73
---	----

### **Efectos de la alimentación materna durante el primer tercio de gestación sobre los rendimientos del conjunto vaca-ternero.**

Figura 1. Posibles repercusiones de la subnutrición de la vaca durante el primer tercio de gestación.....	79
---	----

Cuadro 1. Rendimientos de las vacas durante el primer tercio de gestación, y de los terneros que estaban criando, en función del tipo de alimentación materna y de la raza (Noya <i>et al.</i> , 2017).....	81
---	----

Cuadro 2. Rendimientos de las vacas y de los terneros durante la siguiente lactación, en función del tipo de alimentación materna, de la raza, o de su interacción cuando fue significativa (Modificado de Noya <i>et al.</i> , 2019b).....	82
---	----

Figura 2. Concentración plasmática de IGF-1 en terneros durante la lactación, en función del tipo de alimentación materna y la raza (Noya <i>et al.</i> , 2019b). .....	84
---	----

### **CAPÍTULO II: EFECTO DE LA RESTRICCIÓN NUTRICIONAL DURANTE LA GESTACIÓN SOBRE LA PROGENIE EN OVINOS**

#### **Realimentar las ovejas *ad libitum* luego de una restricción energética durante la mitad de la gestación no afectó el desempeño animal, el inicio de pubertad ni la tasa ovulatoria de las corderas.**

Cuadro 1. Peso vivo de las ovejas al inicio y fin del período de restricción y al momento del destete, según tratamiento nutricional, carga fetal y su interacción. ....	93
--	----

Cuadro 2. Desempeño de los corderos desde su nacimiento hasta el destete, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal, sexo del cordero y sus interacciones.....	94
---	----

Cuadro 3. Desempeño de las corderas hembras durante la primera estación reproductiva, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal y su interacción.....	95
--	----

Cuadro 4. Número de animales ciclando y tasa ovulatoria de las corderas en su primera estación reproductivas, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal y su interacción. .... 95

**Efecto sobre el comportamiento productivo, reproductivo y la respuesta al desafío parasitario en corderas cuyas madres fueron esquiladas a los 50 días de gestación.**

Figura 1. Protocolo experimental. Variables analizadas: peso corporal, condición corporal, concentración plasmática de progesterona, conteo de huevos de parásitos en materia fecal (HPG), muestreos de pasturas .....102

Cuadro 1. Media  $\pm$  (eem) del peso corporal, escala de condición corporal, transformación logarítmica de la cantidad de huevos por gramo de parásitos gastrointestinales en la materia fecal, índice de famacha (IF) y índice de dosificación total (IDT), en las corderas nacidas de ovejas esquiladas pre-parto y esquiladas post-parto. ....104

Cuadro 2. Edad a la pubertad, cantidad de ovejas que alcanzaron la pubertad (%), cantidad de ovejas que mostraron actividad ovárica en la segunda temporada de reproducción (%), edad al comienzo de la actividad ovárica en la segunda estación reproductiva y tasa ovulatoria (TO, número total de cuerpos lúteos (CL) en relación con el número total de ovejas que exhiben celo). ....104

**Efectos de la subnutrición durante la gestación sobre el desarrollo del aparato reproductor del cordero**

Figura 1. Desarrollo del aparato reproductor del macho ovino (modificado de Zambrano *et al.*, 2014). ....113

Figura 2. Experimento 1 - Peso y concentraciones séricas de testosterona y FSH en corderos cuyas madres pastorearon sobre campo natural (azul) o sobre campo mejorado + suplemento (rojo) desde el diagnóstico de gestación hasta los 100 días pos parto (adaptado de Bielli *et al.*, 2001). ....114

Cuadro 1. Experimento 1 - Peso de testículos y epidídimo e histología testicular de corderos de 100 días de edad hijos de madres que pastorearon sobre campo natural (Grupo CN) o sobre campo natural mejorado + suplemento (Grupo CNM) desde el diagnóstico de gestación hasta los 100 días pos parto.....	<b>114</b>
Cuadro 2. Experimento 2 - Peso del testículo e histología testicular de corderos a las 48 h de edad hijos de madres alimentadas a 110 % (Grupo 110) o 70 % (Grupo 70) de los requerimientos de energía metabolizable desde la semana 10 de gestación hasta el parto .....	<b>116</b>
Cuadro 3. Experimento 3 - Disponibilidad y altura del campo natural, y requerimientos energéticos y proteicos cubiertos por los tratamientos .....	<b>117</b>
Cuadro 4. Experimento 3 - Composición química del campo natural.....	<b>117</b>
Figura 3. Experimento 3 - Peso (a) y condición corporal (b) de ovejas que pastorearon a 10-12 kg MS/100 kg PV/día (■) o 5-8 kg MS/100 kg PV/día (□) de campo natural. El día 0 corresponde al día de la concepción. El área sombreada corresponde al periodo experimental. Los asteriscos indican diferencias significativas entre grupos dentro del mismo día de gestación (* P<0,05; ** P<0,01, *** P<0,001).....	<b>118</b>
Cuadro 5. Experimento 3 - Peso corporal y dimensiones del aparato genital en fetos de 70 días, peso e histología testiculares y dimensiones del aparato genital de corderos neonatos cuyas madres pastorearon a 10-12 kg MS/100 kg PV/día (AOF) o 5-8 kg MS/100 kg PV/día desde 23 días antes de la concepción. ....	<b>119</b>
Cuadro 6. Experimento 4 - Disponibilidad y altura del campo natural, y requerimientos energéticos y proteicos cubiertos por los tratamientos .....	<b>120</b>
Cuadro 7. Experimento 4 - Composición química del campo natural .....	<b>120</b>

**La esquila a los 50 días de gestación de ovejas en pastoreo afectó positivamente el peso corporal pero no parámetros reproductivos y de salud de los corderos machos durante los primeros 18 meses de edad.**

Cuadro 1. Análisis de la composición de la pastura ofrecida a las ovejas. Materia seca (MS), Proteína cruda (PC), Fibra detergente ácida (FDA), Fibra detergente neutra (FDN), Cenizas.....	128
Figura 1. Protocolo experimental. Variables analizadas: peso corporal, condición corporal, concentración plasmática de progesterona, conteo de huevos de parásitos en materia fecal (HPG), muestreos de pasturas.....	130
Figura 2. Evolución del peso corporal (media $\pm$ eem) desde el nacimiento hasta los 18 meses de edad, esquilados pre-parto: PS ( $n = 41$ , - ■ -) o post-parto: U ( $n = 38$ , - ○ -) PN = peso de nacimiento; PD = peso al destete.....	131

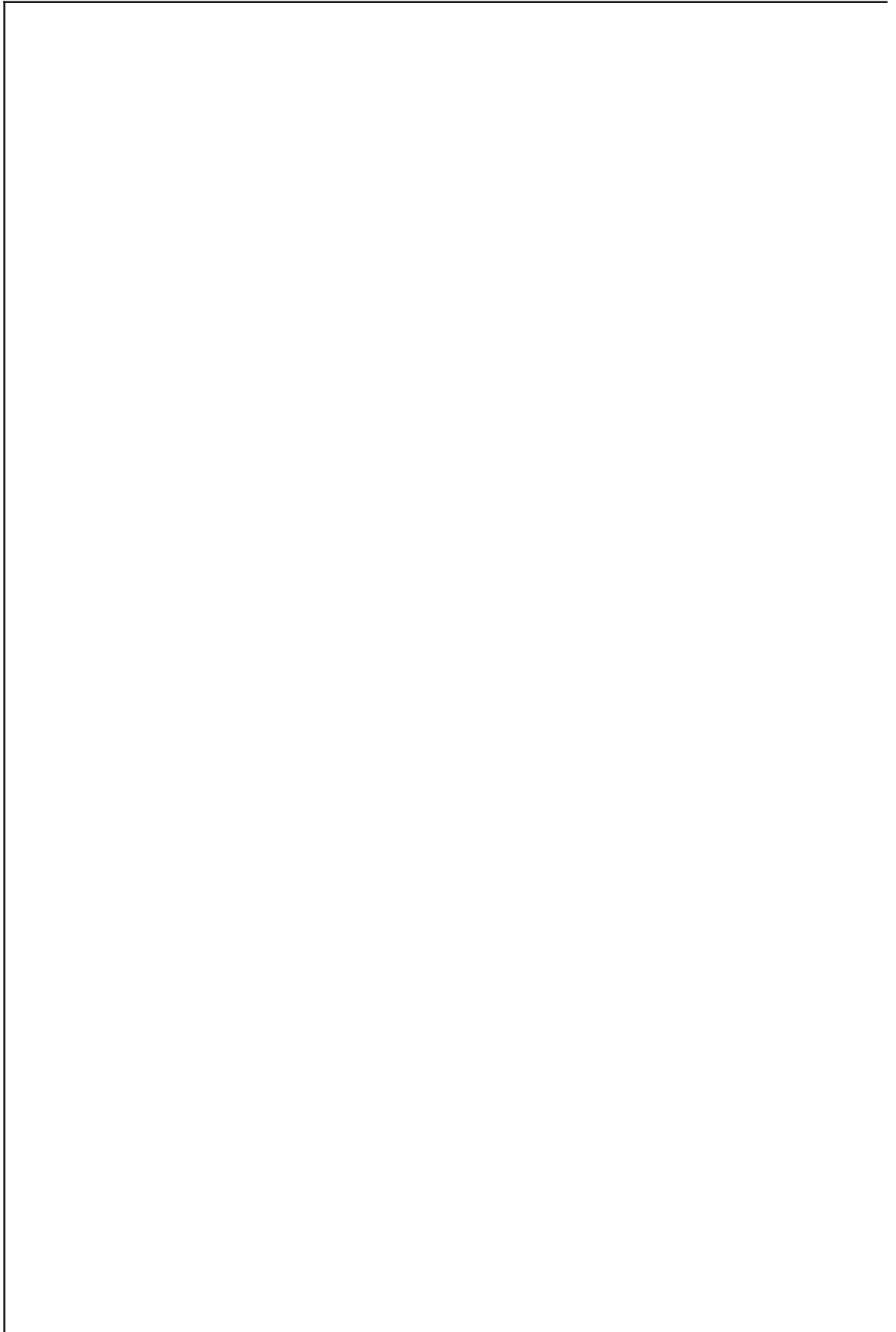
**Una menor oferta de campo natural gestacional afecta el desarrollo muscular fetal-neonatal y repercute sobre el peso y la composición fibrilar en corderos pesados.**

Figura 1. Cortes transversales del <i>Semitendinosus</i> de fetos ovinos de 70 días gestados por ovejas del grupo AOF y BOF teñidos con H y E. Flechas negras y blancas señalan miotubos primarios y fibras fetales secundarias, respectivamente.....	139
Cuadro 1. Variables musculares medidas (medias $\pm$ EEM) en fetos de 70 días (Exp. 1). .....	139
Cuadro 2. Variables musculares medidas (medias $\pm$ EEM) en corderos neonatos (Exp. 1). .....	140
Figura 2. Cortes transversales del <i>Semitendinosus</i> de corderos de 200 días gestados por ovejas del grupo AOF y BOF tratados con la técnica NADH-TZ. Flechas negras y blancas señalan fibras oxidativas y glicolíticas, respectivamente.....	140
Cuadro 3. Variables musculares medidas en el <i>Semitendinosus</i> (medias $\pm$ EEM) de corderos pesados (Exp. 2).....	141

---

**Realimentar las ovejas *ad libitum* luego de una restricción energética durante la mitad de la gestación no afectó el desempeño animal, la eficiencia de conversión del alimento y la calidad de la carne de los corderos.**

Cuadro 1. Peso vivo de las ovejas al inicio y fin del período de restricción y al momento del destete, según tratamiento nutricional, carga fetal y su interacción .....	<b>151</b>
Cuadro 2. Desempeño de los corderos desde su nacimiento hasta el destete, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal, sexo del cordero y sus interacciones.....	<b>153</b>
Cuadro 3. Desempeño de los corderos machos durante la fase de engorde, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal y su interacción. ....	<b>154</b>
Cuadro 4. Características de la canal y la carne de los corderos machos, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal y su interacción. ....	<b>155</b>





## PRÓLOGO

Es realmente un placer poder prologar esta serie técnica que se publica con motivo del Primer Seminario Técnico de Programación Fetal que realizamos en Uruguay. Este trabajo compila los principales avances realizados en los últimos años en la materia en el INIA contando además con los generosos aportes de técnicos de referentes nacionales y extranjeros.

Como se verá en el texto, los primeros hallazgos de programación fetal se realizaron en humanos, donde luego de catástrofes socio-económicas se relacionaban condiciones ambientales durante el desarrollo embrionario y fetal con los riesgos, por ejemplo, de contraer enfermedades como adulto.

Pero, más allá de introducirnos en términos técnicos, cabe preguntarse ¿por qué la ciencia animal se preocupa de estos temas? ¿es pertinente que a nivel de Uruguay en general y en INIA en particular estudiemos esta problemática?

En producción animal lo que se evalúa son diferentes tipos de estrés como nutricionales, climáticos, de manejo, etc., durante la gestación que puedan afectar el desempeño de la progenie.

En un contexto de aumento de la variabilidad climática, que afecta directamente a los sistemas de producción predominantes en Uruguay, la ocurrencia de estos eventos estresantes seguramente se haga más frecuente. Por lo tanto, es importante poder cuantificar el impacto que puedan tener estas restricciones en el desempeño de la progenie de los animales afectados y en qué medida es enmendable. Asimismo, surge en el otro sentido el interrogante si existen intervenciones favorables durante la gestación que repercutan en un beneficio del sistema de producción como un todo debido a un mejor desempeño de dicha progenie.

Es así, que el objetivo de las investigaciones realizadas es comenzar a contestar estos interrogantes planteados, sabiendo que es un proceso extenso dado el tipo de investigación requerida y de la necesidad de la interacción con otras instituciones y centros de referencia nacionales e internacionales.

Seguramente el presente texto se convierta en un material de lectura obligada para estudiantes y técnicos que se interesen por la temática, siendo naturalmente una primera entrega, ya que la investigación internacional y nacional continuarán avanzando.

Gabriel Ciappesoni

Ing. Agr. (Ph.D.), Director del Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA

***No le evitéis a vuestros hijos las dificultades de la vida, enseñadles más bien a superarlas. – Louis Pasteur***



# PROGRAMACIÓN FETAL: UNA MIRADA MÁS ALLÁ DE LO EVIDENTE

G. Quintans<sup>1</sup>

El concepto de programación fetal se origina con la hipótesis planteada por el epidemiólogo inglés David Barker quien propuso que la salud en la vida adulta es afectada por las condiciones a las que es sometido el útero gestante y también por la infancia temprana. Estudios epidemiológicos en humanos mostraron que factores de riesgos de contraer enfermedades cardiovasculares y metabólicas estaban correlacionados con el bajo peso al nacimiento (Barker y Osmond, 1986). Por otra parte, un mojón importante en este tema fue el triste episodio durante el final de la segunda guerra mundial conocido como la hambruna holandesa de 1944-1945, que duró aproximadamente 5 meses y que tuvo lugar en los Países Bajos ocupados por los alemanes. Los hijos de mujeres embarazadas durante ese periodo presentaron mayores riesgos de contraer enfermedades cardiovasculares y metabólicas que hijos de mujeres que no habían cursado esa crisis alimenticia (Roseboom *et al.*, 2001; 2011).

Es así como científicos del área de producción animal comienzan a investigar el efecto de las condiciones en el ambiente uterino sobre el desempeño posnatal, incrementando de forma significativa las contribuciones con este abordaje en los últimos 10 años. No es objetivo de esta introducción realizar una revisión bibliográfica del tema, pero se han hecho muchos esfuerzos en procura de entender mejor los mecanismos involucrados en estos procesos, y en caracterizar los posibles impactos de diferentes niveles y momentos de restricción nutricional en el desempeño posterior de la progenie. Es así que se han reportado contribuciones internacionales sobre estudios de restricciones y/o suplementaciones nutricionales durante pri-

mera o segunda mitad de la gestación, sobre peso vivo y crecimiento, la fertilidad de las hembras y machos, así como atributos de engorde y calidad de carne, tanto en vacunos como en ovinos.

Nuestros sistemas de producción a cielo abierto y principalmente en condiciones de pasturas nativas, hacen que nuestros rodeos y majadas estén sometidas a fluctuaciones nutricionales a lo largo del año. Las pasturas naturales presentan menor disponibilidad y calidad durante el invierno, momento que coincide con el último tercio de gestación en vacas y el tercio medio en ovejas. El nivel de restricción es variable, dependiendo de cuán riguroso se presente el clima en invierno y cuanta disponibilidad de otras pasturas y/o suplementos disponga el productor para mitigar inviernos muy adversos. La condición corporal de las vacas al parto refleja la alimentación recibida por ese animal durante la gestación, y esto se correlaciona de forma muy alta con la probabilidad de preñez al siguiente servicio. Sin embargo, el abordaje científico del efecto de esa restricción nutricional durante el invierno sobre el desempeño posterior de la progenie es reciente. Nuestro equipo de trabajo se planteó las primeras hipótesis en el año 2010, las que se pudieron materializar en un proyecto aprobado en INIA en el 2014. Es así como nuestra contribución en el tema es a través de un enfoque de sistema, estudiando el efecto de restricciones nutricionales coincidentes con el periodo invernal, en vacas y ovejas, y su efecto en crecimiento, calidad de carne y reproducción.

Esta publicación, que va de la mano del Primer Seminario de Programación Fetal en

<sup>1</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Treinta y Tres, Uruguay.

Uruguay, tiene como objetivo compartir los avances alcanzados en este tema a nivel nacional y regional. También investigadores internacionales han acompañado esta propuesta por lo que estamos infinitamente agradecidos. A la luz de los resultados, hay nuevos desafíos planteados para continuar contribuyendo al mejor entendimiento de este tema. Diferentes gradientes de restricciones nutricionales combinados con intervenciones en otros momentos dentro del desarrollo fetal son algunos de los abordajes que estamos comenzando a desarrollar.

Tenemos la fuerte convicción que a través de la generación de conocimiento pertinente, el intercambio técnico y la documentación y difusión de las contribuciones, estamos haciendo un aporte genuino a la mejora de nuestra ganadería.

## BIBLIOGRAFÍA

**Barker, D. J.; Osmond, C.** 1986. Infant mortality, childhood nutrition, and ischaemic heart disease in England and Wales. *The Lancet*, 327 (8489): 1077-1081. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)91340-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)91340-1)

**Roseboom, T. J.; Van Der Meulen, J. H.; Ravelli, A. C.; Osmond, C.; Barker, D. J.; Bleker, O. P.** 2001. Effects of prenatal exposure to the Dutch famine on adult disease in later life: an overview. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 185(1-2): 93-98. doi: [https://doi.org/10.1016/S0303-7207\(01\)00721-3](https://doi.org/10.1016/S0303-7207(01)00721-3)

**Roseboom, T. J.; Painter, R. C.; Van Abeelen, A. F.; Veenendaal, M. V.; de Rooij, S. R.** 2011. Hungry in the womb: what are the consequences? Lessons from the Dutch famine. *Maturitas*, 70(2): 141-145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2011.06.017>

# LOS ORÍGENES DE LA PROGRAMACIÓN O DESARROLLO FETAL EN GANADO VACUNO Y ALGUNAS ÁREAS DE INVESTIGACIÓN A FUTURO

K.J. McCarty<sup>1</sup>, N.M. Long<sup>1</sup>

## RESUMEN

Las primeras observaciones que vincularon las condiciones gestacionales con las de la progenie en humanos, se dieron a partir de la Hambruna Holandesa, en la que la población experimentó un período de severa restricción nutricional. El estudio de este período generó la hipótesis que un ambiente fetal adverso, el bajo peso al nacer y las enfermedades en los adultos estaban potencialmente correlacionados. Esta revisión se enfoca específicamente en experimentos de programación del desarrollo fetal en ganado bovino, en lo que se refiere al crecimiento y desarrollo fetal y posnatal. La programación del desarrollo describe el fenómeno en el cual un estímulo o efecto adverso durante un período crítico tiene consecuencias permanentes que afectan el crecimiento y desarrollo de la descendencia. Los estudios en bovinos han evaluado los efectos de la restricción de nutrientes maternos durante la gestación temprana, media y tardía sobre el crecimiento y el desarrollo posterior de la descendencia. En esta revisión se abordará el impacto de la restricción de nutrientes sobre el crecimiento placentario, el genotipo, dimorfismo sexual, el desarrollo de órganos fetales y el desarrollo del músculo fetal y adiposo. Los datos presentados en esta revisión proporcionan evidencia clara de que la desnutrición materna puede alterar el fenotipo de su descendencia, tanto en el útero como en la vida posnatal. También es importante concluir que estas diferencias de fenotipo pueden ser el resultado de cambios epigenéticos en la expresión génica, asociados con el desarrollo de un "fenotipo ahorrativo". Este

desajuste entre el feto y el entorno posnatal en el que nacerá puede ser el resultado de períodos de crecimiento fetal reducido observado en preñeces con desnutrición.

**Palabras clave:** restricción de nutrientes, subnutrición, progenie.

## ABSTRACT

First observations in which conditions of offspring at birth were linked to gestational conditions came from the Dutch Hunger. During this time, the population underwent a period of famine in which rations were limited. The study of that period brought the idea that an adverse fetal environment, low birth weights, and adult disease were potentially correlated. This review focuses specifically on developmental programming experiments in livestock as it relates to fetal and postnatal growth and development. Developmental programming describes the phenomenon in which a stimulus or adverse effect introduced during a critical period of time has permanent consequences affecting offspring growth and development. This review will address the impact of nutrient restriction specific on placental growth, genotype, sexual dimorphism, fetal organ development and fetal muscle and adipose development. The data presented in this review provide clear evidence that maternal malnutrition can alter the phenotype of its offspring, both in the uterus and in postnatal life. It is also compelling to conclude that these phenotype differences may result from epigenetic changes in gene expression, associated with the development of a thrifty phenotype. This mismatch between the fetus

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Animales y Veterinarias, Universidad de Clemson, Estados Unidos de América.

and the postnatal environment into which it will be born may result from the periods of reduced fetal growth trajectory observed in undernourished pregnancies.

**Keywords:** nutrient restriction, subnutrition, offspring.

## ORÍGENES DE LA PROGRAMACIÓN FETAL

Las primeras observaciones en las que se vincularon las condiciones gestacionales con las de la progenie se dieron a partir de la Hambruna Holandesa, durante el invierno de 1944 a 1945. Durante ese tiempo, la población de los Países Bajos experimentó un período de restricción nutricional, en el que el alimento era limitado y las personas recibían solamente 400 a 800 calorías al día, incluidas las mujeres embarazadas. Stein *et al.* (1975) observaron que la desnutrición gestacional temprana estaba asociada con un mayor número de muertes fetales, una mayor mortalidad posnatal y bajos pesos al nacimiento. Curiosamente, solo las mujeres expuestas a la desnutrición desde la gestación media a tardía tuvieron hijos con menores pesos al nacimiento (Roseboom *et al.*, 2006; Schulz, 2010), así como una disminución de la longitud de la cabeza al talón y circunferencia de la cabeza (Stein *et al.*, 2004). Sin embargo, esta fue la primera instancia en la que se especuló que el bajo peso al nacer de la descendencia fue causado por la nutrición materna en lugar del nacimiento prematuro. El estudio de la Hambruna Holandesa trajo la idea de que un ambiente fetal adverso, bajo peso al nacer y enfermedades en el adulto estaban potencialmente correlacionados. Después de la hambruna, los hijos de mujeres que experimentaron desnutrición en gestación temprana tuvieron hijos con pesos normales al nacer, sin embargo, estos niños experimentaron mayores casos de obesidad en la edad adulta (Roseboom *et al.*, 2006; Schulz, 2010). El deterioro en el peso al nacimiento y crecimiento no solo afecta la supervivencia neonatal a corto plazo, sino también la calidad de vida a largo plazo en la vida adulta. Numerosos estudios epide-

miológicos han evaluado la asociación entre el crecimiento fetal y el comportamiento de la descendencia en relación con un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular, obesidad, hipertensión, resistencia a la insulina, diabetes tipo II, disfunción inmune, retraso en el crecimiento (Barker, 2004; McMillon y Robinson, 2005; Barker, 2007).

Las asociaciones entre el peso al nacer y la salud de los adultos desempeñaron un importante papel en el desarrollo de la hipótesis de Neel (1962) del genotipo "thrifty" o de ahorro en donde estos genes o una probable modificación epigenética de los mismos son seleccionados durante un período de escasez de alimentos para que las personas con esos genes o modificaciones genéticas de los mismos tengan capacidad de almacenamiento de grasa, aunque luego, más adelante en su vida, cuando hay suficiente abundante comida disponible experimenten un mayor riesgo de resistencia a la insulina. Siguiendo la evidencia de estudios epidemiológicos, la adaptación de la hipótesis del genotipo de ahorro pasó a ser la hipótesis del fenotipo de ahorro de Hales y Barker (1992). La hipótesis del fenotipo de ahorro sugiere que un ambiente fetal deficiente induce una respuesta adaptativa en el feto para modificar el crecimiento de órganos vitales del cuerpo a costa del crecimiento de otros órganos, lo que alterará el metabolismo postnatal y otras respuestas fisiológicas (Hales y Barker, 1992). Sin embargo, al abordar la adaptación fetal como resultado del ambiente intrauterino, se introdujo el concepto de *programación*.

La programación del desarrollo describe el fenómeno en el cual un estímulo o efecto adverso durante un período crítico tiene consecuencias permanentes como cambios estructurales, fisiológicos y metabólicos que afectan el desarrollo y la producción (Godfrey, 2002; Nathanielsz *et al.*, 2007). Por lo tanto, a medida que el feto crece y se desarrolla es susceptible a los cambios en el entorno interno o externo, así como a cualquier predisposición genética. Se sabe desde hace mucho tiempo que la desnutrición

materna del ganado resultará en un crecimiento fetal reducido durante la gestación (Wallace, 1946). La programación abarca la plasticidad con la que un organismo responde a las señales ambientales o nutricionales durante la vida temprana que podrían conducir a posibles consecuencias adversas (Gicquel, 2008). Por lo tanto, el concepto de programación del desarrollo abarca no solo el desarrollo prenatal, sino también el impacto del desarrollo postnatal temprano en los efectos a largo plazo en la descendencia. Hoy día, estos conceptos que fueron introducidos a mediados y finales de 1900 aún son vigentes en la industria ganadera actual y los animales afectados por la programación pueden presentar un crecimiento reducido, una alteración en la composición de la canal y un menor rendimiento y calidad de carne. El crecimiento y desarrollo fetal es un componente importante para la producción de carne bovina debido a que una disminución de la tasa de crecimiento, reducción de la eficiencia alimenticia y tasa de ganancia diaria, pobre composición de la carcasa que contiene mayores cantidades de tejido adiposo, reducido número de miofibrillas y un aumento del tejido conectivo que da como resultado una calidad de carne inferior, así como otras enfermedades y trastornos (Reynolds *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2006; Kais *et al.*, 2010; Uetake, 2013) son problemas muy importantes en la industria ganadera. Esta revisión se enfoca específicamente en experimentos de programación del desarrollo fetal en ganado, predominantemente bovino, en lo que se refiere al crecimiento fetal y postnatal y desarrollo.

### **INVESTIGACIÓN TEMPRANA EN BOVINOS PARA CARNE**

Los efectos de la restricción de nutrientes en vacas durante la gestación publicados antes del año 2000 se resumen en el cuadro 1. La restricción de nutrientes que ocurre antes y durante el tercer trimestre de gestación (día 190 de gestación) redujo el peso al nacer. Hay algunos estudios que son excepciones a esta afirmación. En estos estudios en los que no se reporta ningún efecto de la restric-

ción de nutrientes, las diferencias en el peso de la vaca al final del tratamiento nutricional no fueron tan diferentes, lo que indica que la restricción de nutrientes no fue lo suficientemente grave como para causar diferencias en el crecimiento fetal (Bellows y Short, 1978; Doornbos *et al.*, 1984; Shell *et al.*, 1990). Las vaquillonas tienden a responder a la restricción nutricional con una disminución del peso al nacer de los terneros de manera más consistente que las vacas (Bellows y Short, 1978). La restricción nutricional no solo puede reducir el peso al nacer, sino que también puede acortar la duración de la gestación (Hafez *et al.*, 1968; Warrington *et al.*, 1988). La restricción de proteína en dietas isocalóricas durante los últimos 4 meses de gestación disminuyó la duración de la gestación en 8 días (Waldhalm *et al.*, 1979). Sin embargo, la reducción de proteína en una dieta isocalórica no reduce el peso al nacer de los terneros. Las vacas que parieron en una condición corporal (CC) de 6 puntos tienen terneros con mayor peso al nacer que las vacas que parieron en una condición corporal de 4 puntos (Spitzer *et al.*, 1995). Si la diferencia es de 4 vs. 5 o 4,6 vs. 5,2 puntos de CC, los pesos de nacimiento de terneros no se ven afectados (Ciccioli *et al.*, 2003; Martin *et al.*, 2007), lo que indica que la diferencia de CC debe ser superior a 1,5 puntos en un grupo que tiene una CC igual o inferior a 4 puntos.

### **INVESTIGACIÓN SOBRE LOS EFECTOS DE LA NUTRICIÓN MATERNA EN BOVINOS**

Se ha observado que la restricción de nutrientes maternos durante la preñez reduce el crecimiento general en fetos bovinos (Long *et al.*, 2009), ovinos (Vonnahme *et al.*, 2003; Ford *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2011), suinos (Schoknecht *et al.*, 1994) y equinos (Pugh, 1993). Además, la restricción de nutrientes puede afectar negativamente el crecimiento postnatal de la descendencia si ocurre durante los períodos críticos de desarrollo durante la gestación (Barker y Clark, 1997). El impacto maternal del modelo nutricional aplicado se relaciona con el momento

en que se implementa el estímulo y al tipo de estímulo.

Los estudios en bovinos han evaluado los efectos de la restricción de nutrientes maternos durante la gestación temprana, media y tardía sobre el crecimiento y el desarrollo posterior de la descendencia. Durante la gestación temprana, la nutrición materna afecta el desarrollo futuro del tejido adiposo de la descendencia al aumentar las células precursoras de adipocitos cuando los nutrientes están disponibles, pero la restricción de nutrientes puede conducir a una adaptación que se convierta en un síndrome metabólico (Symonds *et al.*, 2009). A medida que avanza la gestación en la mayoría de las especies de ganado, la demanda nutricional de la madre no cambia significativamente hasta la parte final de la gestación, en la que ocurre el crecimiento exponencial del feto. Desde mediados hasta finales de la gestación, la restricción de nutrientes puede ocurrir debido a las mayores demandas nutricionales del feto. Esto se suma al hecho de que la mayoría de las vacas se reproducen durante las estaciones más cálidas con las temperaturas más altas y forraje de baja calidad (Wu *et al.*, 2006) y son mantenidas en forraje de baja calidad sin suplementación adicional para satisfacer sus necesidades de energía (NRC, 1996). Las restricciones de nutrientes en el ganado en este período de crecimiento y desarrollo fetal conducen a una mayor mortalidad perinatal, perjudican el crecimiento fetal, reducen el peso al nacer y el crecimiento postnatal y aumentan el riesgo de enfermedades (Kroger y Cummins, 1979; Barker, 1997; Barker, 2004; Barker, 2007; Nathanielsz *et al.*, 2007). Más recientemente, Taylor *et al.* (2018) observaron que los fetos recolectados en el día 190 de gestación habían disminuido el peso de la canal vacía en vacas con restricción de nutrientes, independientemente de cuándo se produjo la restricción durante la gestación (temprana o tardía). Al final de la gestación, el feto no solo está experimentando un crecimiento exponencial antes del parto y está limitado por los nutrientes disponibles en el sistema materno, sino que las limitaciones físicas, como la

capacidad materna, restringen el crecimiento fetal y el número de crías (Davies *et al.*, 2005). Los terneros de bovinos para carne hijos de vacas restringidas nutricionalmente durante la gestación tardía presentaron menor peso al nacer en comparación con los terneros de las madres control ( $33,4 \pm 1,2$  y  $37,2 \pm 1,3$  kg, respectivamente; LeMaster *et al.*, 2017). De manera similar, en ovejas de Mongolia restringidas nutricionalmente desde el día 90 de gestación hasta el parto, se observó menor tasa de crecimiento fetal y un menor peso al nacer de los corderos (Gao *et al.*, 2009).

Los modelos de nutrición materna que se han desarrollado a lo largo de los años, no son sólo modelos de sobre o sub-nutrición durante la gestación, sino también de manipulación de la energía, proteína y grasa (Satterfield *et al.*, 2013; Yan *et al.*, 2013).

### **Impacto de la restricción de nutrientes en el crecimiento placentario**

La alteración de la nutrición materna se ha asociado con una alteración en el crecimiento placentario que afecta directamente tanto el crecimiento fetal como el transporte de nutrientes. La placenta es un órgano transitorio que sirve para conectar los sistemas circulatorios materno y fetal para transportar nutrientes y servir como mecanismo de intercambio de gases. Las restricciones de nutrientes durante la gestación podrían alterar el tamaño de la placenta y la capacidad de transferencia de nutrientes que influyen en el crecimiento y desarrollo fetal, lo que resulta en un menor peso al nacer y un crecimiento y producción inferiores durante la vida postnatal (Robinson *et al.*, 2014), debido al hecho de que la gestación abarca el crecimiento placentario, diferenciación y vascularización, y organogénesis fetal (Funston *et al.*, 2010). La nutrición materna puede alterar el peso placentario e inducir una forma de disfunción placentaria que conduce a trastornos como la restricción del crecimiento intrauterino y la disminución de los pesos al nacimiento (Robinson, 2017; Sultana *et al.*, 2017).



Se ha observado sensibilidad a la nutrición materna en diversas especies de rumiantes que albergan similitudes morfológicas, como el tipo uterino o placentario. Sin embargo, las asociaciones temporales y la respuesta o adaptaciones de la vascularidad placentaria dependen de la especie. En los rumiantes, los sitios de intercambio predominantes son los placentomas formados por tejidos de la carúncula (materno) y el cotiledón (fetal). En las ovejas, el cotiledón experimenta un crecimiento exponencial durante la primera parte de la gestación y luego disminuye gradualmente (Naaktgeboren *et al.*, 1974), mientras que en el ganado bovino el cotiledón exhibe un crecimiento progresivo durante la gestación (Reynolds *et al.*, 1995; Vonnahme *et al.*, 2001). Específicamente, la placenta bovina alcanza un punto de desarrollo completo aproximadamente a los 170 días de gestación (Bjorkman, 1954; Leiser *et al.*, 1997) y el peso de la placenta aumenta exponencialmente durante la gestación, pero es superado por el crecimiento exponencial del feto durante este tiempo (Reynolds y Redmer, 1995).

Se ha observado que la restricción de nutrientes durante la gestación temprana aumenta el peso de la placenta, aumenta la longitud desde parte superior de la cabeza (corona) hasta la grupa, disminuye la relación entre el peso fetal y la placenta y altera la relación entre el peso total del componente fetal de la placenta y el peso fetal en ovejas con partos simples (Haesman *et al.*, 1998). Además, la subnutrición en la gestación temprana se ha asociado con un inadecuado desarrollo de la placenta y vascularización de la unidad útero placentaria en ovinos (Vonnahme *et al.*, 2007). Se han hecho observaciones similares en estudios de restricción de proteínas en cerdos (Pond *et al.*, 1991) y subnutrición en humanos (Lunney, 1998). En el ganado bovino, la restricción de nutrientes en gestación temprana disminuye el peso del placentoma al día 125 de gestación y permanece bajo aún después de un período de realimentación que duró hasta la gestación tardía (día 250 de gestación; Zhu *et al.*, 2007). También se ha observado que la ingesta inadecuada

de nutrientes durante la gestación tardía aumenta el peso placentario en las vacas de carne (Rasby *et al.*, 1990). Se ha especulado durante mucho tiempo que el aumento en el peso de la placenta se debe a un mecanismo compensatorio que responde a la una baja disponibilidad de nutrientes durante los períodos de subnutrición.

Además de los atributos físicos de la placenta que se alteran bajo diversas condiciones de nutrición materna, la capacidad de la placenta para funcionar como un mecanismo de transporte de nutrientes se ve afectada. Se ha demostrado que el transporte de nutrientes está regulado positivamente en los modelos maternos con dietas altas en grasas en los que experimentan un crecimiento excesivo del feto como resultado de la mayor transferencia de nutrientes placentarios (Jones *et al.*, 2009). Los modelos maternos donde se alimentan con una dieta baja en proteínas muestran una baja regulación de muchos transportadores de nutrientes, así como una disminución en el peso fetal (Jansson *et al.*, 2006). Por otro lado, existe evidencia de que la expresión de genes particulares, como IGF2, pueden determinar el transporte de nutrientes que suministra nutrientes de los sistemas materno al fetal (Constancia *et al.*, 2002). Además, la expresión génica puede alterar el transporte de nutrientes a través de las membranas celulares, como las circulaciones materna y fetal, durante la gestación (Constancia *et al.*, 2002; Reik *et al.*, 2003; Gong *et al.*, 2010).

### **Impacto de la restricción de nutrientes específica para el genotipo**

Como se mencionó anteriormente, el crecimiento y el desarrollo fetal y postnatal se han evaluado en respuesta a la manipulación de energía, proteína o grasa en varios modelos de nutrición materna (Satterfield *et al.*, 2013; Yan *et al.*, 2013; Sultana *et al.*, 2017). En el ganado bovino, la restricción de nutrientes gestacionales puede inducir una restricción del crecimiento intrauterino (RCIU) que se ha asociado con problemas de salud postnatal. Los fetos RCIU comúnmente exhiben un

crecimiento asimétrico para priorizar el crecimiento y el desarrollo de los órganos primarios (es decir, nervioso y cardiovascular) necesarios para la supervivencia. Un estudio de Long *et al.* (2009) demostró que la RCIU en vacas podría ser inducida cuando el nutriente se restringiera del día 30 al 125 de la gestación. Además, se ha observado que la restricción de nutrientes durante la gestación en vacas Angus cruza afecta los metabolitos maternos y el crecimiento fetal (Taylor *et al.*, 2018). Sin embargo, la restricción de nutrientes no alteró el peso del útero, el peso de los placentomas o el peso de las carúnculas, pero aumentó el peso del cotiledón y el área total de la superficie de los placentomas en vacas con restricción de nutrientes en gestación temprana o media (Taylor *et al.*, 2015). Debido a que la gestación temprana es un período crítico del desarrollo de tejidos y órganos fetales, se ha observado que la nutrición materna induce RCIU durante este período. Como se mencionó anteriormente, Long *et al.* (2009) demostraron que los fetos de vacas Angus x Gelbveih restringidas nutricionalmente desde el día 30 al 125 de gestación presentaron disminución del peso, crecimiento asimétrico y se asociaron con un reducido peso de los cotiledones y superficie placentomal de los úteros que coinciden.

Curiosamente, el genotipo también puede desempeñar un papel en la respuesta a la restricción materna de nutrientes y la aparición de RCIU en los fetos. Se observó una tasa de crecimiento más lenta en los fetos de las vacas *Bos indicus* en comparación con las vacas *Bos taurus* (Ferrell, 1991; O'Rourke *et al.*, 1991) en mitad de la gestación. Del mismo modo, fetos extraídos en gestación temprana de madres con restricción de nutrientes presentaron mayor peso en las vacas Angus en comparación con las vacas Brahman (Fontes *et al.*, 2017). Sin embargo, Lemley *et al.* (2018) observaron que el peso materno y fetal (día 180 de gestación) no difirió entre vaquillonas Brahman y Angus que sufrieron restricción de nutrientes desde los días 50 a 180 de gestación. Se ha sugerido cierta discrepancia entre el desarrollo y el crecimiento fetal de Brahman y Angus, pero

aún no está claro, si las diferencias observadas entre las vacas *Bos indicus* y las vacas *Bos taurus* están influenciadas por el genotipo fetal o materno. En investigaciones anteriores, se ha investigado el genotipo materno y se ha determinado que no es el principal contribuyente de las consecuencias negativas de la restricción de nutrientes. Mientras que, si bien se ha especulado sobre el genotipo fetal, no se ha investigado directamente. La determinación de la contribución materna o fetal, y su interacción, aún no está clara y merece mayor investigación.

### Dimorfismo sexual

A medida que avanza la gestación, ha habido informes de dimorfismo sexual en humanos y especies de ganado. Los reportes de diferencias debido al sexo fetal han incluido: peso placentario, peso fetal, peso al nacer y el posterior crecimiento de la descendencia. En general, se ha reportado que los hombres presentan un mayor peso al nacer en comparación con las mujeres, pero también mayores riesgos de nacer prematuros y tasas de mortalidad infantil (Di Renzo *et al.*, 2007) y son más propensos a experimentar una respuesta negativa a la preeclampsia, el parto prematuro y RCIU (Vatten y Skjaerven, 2004). Estas observaciones pueden deberse a adaptaciones específicas de la placenta al sexo de la cría que afectan el crecimiento de la descendencia más adelante. Por ejemplo, el crecimiento de un feto femenino se reduce en respuesta a un embarazo comprometido, mientras que los fetos masculinos crecen normalmente (Murphy *et al.*, 2003; Stark *et al.*, 2009). En una revisión de Clifton (2010), el autor aborda las diversas vías metabólicas y las posibles respuestas de la placenta que exhiben diferencias sexuales específicas. Existe información limitada en el ganado vacuno sobre los efectos del sexo del feto en la respuesta a la desnutrición materna. Se ha demostrado que durante la mitad de la gestación (día 110 de gestación), los fetos machos de vacas nutricionalmente restringidas habían reducido el peso de la carcasa vacía ( $0,47 \pm 0,01$  kg) en comparación con los fetos machos de las vacas control ( $0,54 \pm 0,01$  kg)

mientras no hubo diferencias en el peso de la carcasa vacía en los fetos femeninos (Taylor *et al.*, 2018).

## INVESTIGACIÓN SOBRE LOS EFECTOS DE PROGRAMACIÓN DE LA NUTRICIÓN MATERNA EN EL GANADO

### Impacto de la restricción de nutrientes en el desarrollo de órganos fetales (por ejemplo: páncreas)

Cuando el entorno fetal se ve privado de nutrientes, se produce un cambio adaptativo en el que el crecimiento de órganos vitales del cuerpo, se alteran (Godfrey y Barker, 2000; Gicquel, 2008). La nutrición materna insuficiente puede inducir lesiones metabólicas durante la gestación que perjudican el desarrollo fetal de los órganos endócrinos, como el páncreas, y puede ser un factor que contribuye a la aparición de síndrome metabólico o diabetes en animales durante su vida postnatal. Especialmente teniendo en cuenta que los trastornos asociados con el crecimiento fetal subóptimo son causados por el desarrollo alterado de ejes endocrinos clave, que pueden impedir los mecanismos fisiológicos (Gicquel, 2008). El desarrollo pancreático es imprescindible para la función endócrina y puede verse afectado debido a la reducción del crecimiento fetal. Por ejemplo, la alteración del crecimiento y un mal funcionamiento del páncreas pueden reducir las concentraciones de insulina y estar asociadas con el retraso del crecimiento intrauterino.

El desarrollo del páncreas ocurre durante la etapa fetal y la vida postnatal temprana en el ganado (Bonner-Weir, 1980). Sin embargo, se ha demostrado que los períodos de restricción nutricional materna influyen en el peso del páncreas de la descendencia. Reportes previos de restricción de nutrientes materna en el crecimiento pancreático no informaron diferencias en la descendencia bovina (Long *et al.*, 2009) u ovina (Vonnahme *et al.*, 2003). Más recientemente, se ha observado una disminución en el peso del

páncreas en fetos de vacas Angus con restricción de nutrientes en la gestación tardía (día 110 a día 190 de gestación; McCarty *et al.*, 2019). En las ovejas con nutrientes restringidos, el peso del páncreas fetal a los 90 días de gestación disminuyó, pero no difirió al nacer entre los tratamientos (Gao *et al.*, 2009).

Curiosamente, se han descrito reportes similares sobre una disminución del peso del páncreas fetal en ovejas alimentadas con dietas obesogénicas 60 días antes de la concepción (Zhang *et al.*, 2011). La observación de alteraciones en los pesos de los órganos en la descendencia debido al entorno materno refleja la idea de que los cambios prenatales inducidos durante la gestación pueden influir en las concentraciones circulantes de hormonas postnatales (Fowden y Forhead, 2004). En este caso, la alteración del crecimiento pancreático y la función alterada pueden reducir las concentraciones de insulina. Según LeMaster *et al.* (2017) las concentraciones de insulina en plasma materno disminuyeron cuando se produjo la restricción de nutrientes durante la gestación tardía en vacas de carne. En McCarty *et al.* (2019), las concentraciones de insulina disminuyeron en las vacas Angus y en sus fetos, pero aumentaron en el páncreas fetal completo en el día 190 de gestación cuando las madres tenían restricción de nutrientes durante la gestación tardía (días 110 a 190 de gestación).

La reducción de la secreción de insulina puede estar asociada con un transporte reducido de nutrientes provenientes de la circulación materna hacia feto en desarrollo. Cuando el flujo sanguíneo placentario y uterino se redujo en ovejas sobrealimentadas, se observó una disminución concomitante en la concentración de insulina fetal (Wallace *et al.*, 2002). Una menor concentración de insulina también podría estar relacionada con las madres más jóvenes que experimentan restricción de nutrientes. Se ha observado previamente que las vacas más jóvenes son más susceptibles a la restricción de nutrientes en comparación con las vacas más viejas (Bellows y Short,

1978; LeMaster *et al.*, 2017). Las vaquillonas inmaduras y en crecimiento no tienen la capacidad materna desarrollada para repartir nutrientes al feto en desarrollo, por lo tanto, se ha reportado que las hembras maduras toleran mejor la restricción de nutrientes que las hembras inmaduras (Bellows y Short, 1978; Wallace *et al.*, 2002). Durante los períodos de restricción de nutrientes, existe una mayor probabilidad de efectos negativos a largo plazo en la progenie de madres inmaduras.

### **Impacto de la restricción de nutrientes específica para el desarrollo del músculo fetal y adiposo**

Como se mencionó anteriormente, las carcasas de animales afectados por la programación pueden presentar alteraciones en la composición de la canal, así como un menor rendimiento y calidad de carne. La menor producción debido a una menor calidad de la carne dada por peor composición de la carcasa que contiene mayores cantidades de tejido adiposo, menor números de miofibrillas y aumento del tejido conectivo, puede estar asociada con la nutrición materna durante la gestación (Reynolds *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2006; Kais *et al.*, 2010). Por lo tanto, la manipulación fetal del desarrollo del músculo durante la gestación tiene la capacidad de afectar la calidad y el valor de la canal a largo plazo.

En el ganado bovino, el desarrollo muscular fetal inicialmente ocurre dentro de los primeros 2 meses posteriores a la concepción, aunque se forman muy pocas fibras musculares durante este tiempo, por lo tanto, la restricción de nutrientes durante la gestación temprana no es tan perjudicial (Russell y Oteruelo, 1981). La mayor parte de la formación de células musculares ocurre entre los 2 y 8 meses de gestación, en los cuales cualquier efecto negativo durante este tiempo tendría como resultado efectos perjudiciales en el número de fibras musculares, por lo tanto, efectos irreversibles en la composición de la carne en el futuro (Russell y Oteruelo,

1981; Zhu *et al.*, 2006, Du *et al.*, 2010). Se ha observado que la desnutrición disminuye el número de miofibrillas y aumenta el área transversal de miofibrillas en el ganado bovino (Funston *et al.*, 2010). La restricción de nutrientes temprano en la gestación tiende a reducir el número de miofibrillas en la descendencia (Robinson *et al.*, 2013), mientras que Long *et al.* (2010) observaron que una restricción nutricional en un 55% de las recomendaciones de NRC a vaquillonas de carne durante la gestación temprana no influyó en el peso al nacer o el crecimiento posparto de su cría. Sin embargo, el tejido muscular se alteró, como lo indica el aumento del área de fibra muscular, el aumento de las concentraciones de ADN, en el animal adulto. Además, se ha observado un aumento en los depósitos de tejido adiposo como resultado de la restricción de nutrientes en la gestación tardía en varias especies (Symonds *et al.*, 2003). Se ha observado que los modelos de sobrenutrición durante la gestación (1,5 veces los requerimientos de energía de mantenimiento) aumentan la expresión de los marcadores de ARNm en relación con la fibrogénesis y la adipogénesis en el músculo esquelético fetal en el ganado Nellore, independientemente del momento en que ocurrió el daño (Duarte *et al.*, 2014).

### **MicroARN**

Varias vías celulares se han asociado con mecanismos compensatorios de restricción de nutrientes maternos en perfiles materno y fetal. Se ha especulado que los reguladores de ARN, específicamente los microARN, desempeñan un papel en la alteración o modificación de estas vías involucradas en el crecimiento y desarrollo fetal. Los microARN (miARN) son pequeños ARN no codificantes que tienen una longitud de 20-25 nucleótidos y regulan la expresión génica postranscripcional al unirse a la 3' región no-transcripta (3'UTR) de su ARN objetivo (es decir, ARN mensajero; Bartel *et al.*, 2004). Los microARN regulan eventos celulares tales como: desarrollo y formación de órganos (Boettger *et al.*, 2012; Cochella *et al.*, 2012), enfermedades genéticas y cardiovasculares (Latronico *et*

*al.*, 2009; Henrion-Caude *et al.*, 2012; Santovito *et al.* *al.*, 2012), trastornos metabólicos (Rottiers *et al.*, 2012; Rayner *et al.*, 2014), metabolismo de los lípidos (Fernandez-Hernando *et al.*, 2011) y síntesis de ácidos grasos (Elmen *et al.*, 2007). La regulación de la expresión de microARN y su asociación con numerosas vías celulares ha llevado a investigaciones recientes de perfiles específicos de miARN y predicciones objetivo en relación con la nutrición materna, así como la especificidad de tejido en el ganado.

Se han realizado observaciones de perfiles de miARN que reflejan el estado de preñez en algunas especies. Por ejemplo, la secreción exosomática de miARNs de vellosidades coriónicas que han entrado en la circulación materna y participado en la señalización mediada por el factor de necrosis tumoral durante la gestación ha sido observado en humanos (Luo *et al.*, 2009). Por el contrario, la presencia o abundancia de miARNs no difirió entre ovejas preñadas o no preñadas (Cleys *et al.*, 2014). Sin embargo, independientemente de si los perfiles de miARN diferían en ovejas preñadas o no preñadas, todas las vías de señalización enriquecidas fueron asociadas con el crecimiento celular, la proliferación y el desarrollo de órganos. Lo que refuerza aún más la idea de que los miARN funcionales son necesarios para el desarrollo fetal adecuado. Recientemente, los perfiles de miARN de placentomas de vacas con restricción de nutrientes durante la gestación temprana presentaron una mayor alteración en la abundancia de miARN y vías enriquecidas asociadas con la guía de axones, endocitosis, interacción ligando-receptor neuroactivo y vía de señalización MAPK (Taylor *et al.*, 2015). Esto se vio respaldado por los perfiles de miARN circulantes en los que las vacas con restricción de nutrientes durante la gestación temprana y media presentaron abundancia de alteraciones de miARN independientemente del momento en que se indujo la carencia nutricional, así

como el enriquecimiento de la vía de genes objetivos como: vías en el cáncer, AMPc señalización, adhesión focal, señalización Ras, proteoglicanos en cáncer y vías de señalización MAPK (McCarty *et al.*, 2019).

Como fue mencionado anteriormente, miARN impacta varios eventos celulares, la mayoría de los cuales ocurren en el desarrollo fetal. La función o los perfiles de microARN pueden reflejar mecanismos compensatorios o vías afectadas de los fetos que sufren condiciones adversas durante el desarrollo, como la disponibilidad reducida de nutrientes. Los fetos de vacas con restricción de nutrientes durante la gestación temprana y media presentaron una disminución en el peso fetal, un cambio en la expresión de microARN en los tejidos adiposos perirrenales pertenecientes a vías enriquecidas asociadas con genes diana para la angiogénesis, señalización de insulina, diabetes mellitus tipo II y señalización de FoxO vía involucrada en la diferenciación de preadipocitos (Long *et al.*, 2017).

## CONCLUSIÓN

Los datos presentados en esta revisión proporcionan evidencia clara de que la desnutrición materna puede alterar el fenotipo de su descendencia, tanto en el útero como en la vida postnatal. También es importante concluir que estas diferencias de fenotipo pueden ser el resultado de cambios epigenéticos en la expresión génica, asociados con el desarrollo de un “fenotipo ahorrativo”. Este desajuste entre el feto y el entorno postnatal en el que nacerá puede ser el resultado de períodos de crecimiento fetal reducido observado en preñeces con desnutrición. Estos datos son consistentes con el concepto de que permitir desviaciones significativas de los requerimientos nutricionales en una hembra gestante puede alterar notablemente la calidad de su descendencia, lo que tendría un marcado impacto en la sostenibilidad y rentabilidad del productor.

**Cuadro 1.** Efecto de la subnutrición materna durante la gestación de vacas, sobre el crecimiento fetal, resultados publicados antes del año 2000.

Autor	Período de restricción (día de gestación)	Restricción	PV(kg) o CC de las madres preparto	PV terneros
Hafez <i>et al.</i> , 1968	45 a término	consumo	vaquillonas 441 vs. 625	menor peso al nacer
Corah <i>et al.</i> , 1975	180 a término	consumo	vaquillonas $\Delta$ PV of + 36,1 vs. -5,8	menor peso al nacer
Bellow y Short 1978	190 a término	consumo	vaquillonas 329 vs. 378	menor peso al nacer
Bellow y Short 1978	190 a término	consumo	vaquillonas 346 vs. 361	menor peso al nacer
Bellow y Short 1978	190 a término	consumo	vacas 422 vs. 473	sin efecto
Kroker y Cummins, 1979	190 a término	consumo	vaquillonas $\Delta$ PV 42,5 vs. -12 vs. -46	menor peso al nacer
Prior <i>et al.</i> 1979	42 a término	consumo	vaquillonas 355 vs. 421 vs. 469	sin efecto a los 90, 125, 150, 180, 210, 240, y 255 días de gestación
Waldhalm <i>et al.</i> , 1979	120 a término	proteína	vacas 371 vs. 410	menor largo de gestación
Tudor y O'Rourke 1980	180 a término	consumo	$\Delta$ PV durante trat + 63,8 o -36,8	menor peso al nacer y largo de gestación
Doornbos <i>et al.</i> , 1984	220 a término	consumo	vaquillonas y vacas 450 vs. 456	sin efecto
Anthony <i>et al.</i> , 1986	205 a término	proteína	vaquillonas 473 vs. 498	sin efecto
Boyd <i>et al.</i> , 1987	230 a término	consumo	vacas 503 vs. 527	menor peso al nacer
Carstens <i>et al.</i> , 1987	190 a término	proteína	vaquillonas $\Delta$ PV 97 vs. 180	sin efecto
Warrington <i>et al.</i> , 1988	90 a término	consumo	vaquillonas $\Delta$ PV of -3,75 vs. -92	menor peso al nacer y largo de gestación
Houghton <i>et al.</i> , 1990	190 a término	consumo	vacas 643 vs. 575	sin efecto
Miner <i>et al.</i> 1990	220 a término	consumo	vacas $\Delta$ PV 1,9 a 46,4	sin efecto
Rasby <i>et al.</i> , 1990	145 a 259	consumo	vacas 419 vs. 511	sin efecto
Shell <i>et al.</i> , 1995	100 a término	consumo	vacas 514 vs. 571	sin efecto
Spitzer <i>et al.</i> , 1995	190 a término	consumo	vaquillonas que paren con CC 4 o 6	menor peso al nacer
Martin <i>et al.</i> , 1997	140 a término	proteína	vaquillonas 475 vs. 357	sin efecto
Perry <i>et al.</i> , 1999	42 a 198	proteína	vaquillonas (No reportado)	sin efecto al término

## BIBLIOGRAFÍA

- Al-Gubory, K. H.; Fowler, P. A.; Garrel, C.** 2010. The roles of cellular reactive oxygen species, oxidative stress and antioxidants in pregnancy outcomes. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 42(10), 1634-1650. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2010.06.001>
- Anthony, R. V.; Bellows, R. A.; Short, R. E.; Staigmiller, R. B.; Kaltenbach, C. C.; Dunn, T. G.** 1986. Fetal growth of beef calves. I. Effect of prepartum dietary crude protein on birth weight, blood metabolites and steroid hormone concentrations. *Journal of Animal Science*, 62(5): 1363-1374.
- Barker, D. J.** 2004. Developmental origins of wellbeing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 359(1449):1359-1366. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1518>
- Baker, D. J.** 2007. Introduction: The window of opportunity. *The Journal of Nutrition*. 137(4): 1058-1059. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/137.4.1058>
- Barker, D.J.; Clark, P.M.** 1997. Fetal undernutrition and disease in later life. *Reviews of reproduction*, 2(2):105-112.
- Bartel, D. P.** 2004. MicroRNAs: Genomics, biogenesis, mechanism, and function. *Cell*, 116(2):281-297. doi: [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(04\)00045-5](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(04)00045-5)
- Bellows, R. A.; Short, R. E.** 1978. Effects of Precalving Feed Level on Birth Weight, Calving Difficulty and Subsequent Fertility. *Journal of Animal Science*, 46(6):1522-1528. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1978.4661522x>
- Bjorkman, N.** 1954. Morphological and histochemical studies on the bovine placenta. *Acta Anatomica (Basel)*, 22:1-91.
- Boettger, T.; Braun, T.** 2012. A new level of complexity: the role of microRNAs in cardiovascular development. *Circulation Research*, 110(7):1000-1013. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.111.247742>
- Bonner-Weir, S.; Like, A. A.** 1980. A dual population of islets of Langerhans in bovine pancreas. *Cell and tissue research*, 206(1):157-170.
- Boyd, G. W.; Kiser, T. E.; Lowrey, R. S.** 1987. Effects of prepartum energy intake on steroids during late gestation and on cow and calf performance. *Journal of Animal Science*, 64(6): 1703-1709. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1987.6461703x>
- Carstens, G. E.; Johnson, D. E.; Holland, M. D.; Odde, K. G.** 1987. Effects of prepartum protein nutrition and birth weight on basal metabolism in bovine neonates. *Journal of Animal Science*, 65(3): 745-751. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1987.653745x>
- Ciccioli, N.H.; Wettemann, R.P.; Spicer, L.J.; Lents, C.A.; White, F.J.; Keisler, D.H.** 2003. Influence of body condition at calving and postpartum nutrition on endocrine function and reproductive performance of primiparous beef cows. *Journal of Animal Science*, 81(12):3107-3120. doi: <https://doi.org/10.2527/2003.81123107x>
- Cochella, L.; Hobert, O.** 2012. Diverse functions of microRNAs in nervous system development. In *Current topics in developmental biology*, 99:115-143. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387038-4.00005-7>
- Constancia, M.; Hemberger, M.; Hughes, J.; Dean, W.; Ferguson-Smith, A.; Fundele, R.; Stewart, F.; Kelsey, G.; Fowden, A.; Sibley, C.; Reik, W.** 2002. Placental-specific IGF-II is a major modulator of placental and fetal growth. *Nature*, 417:945-948.

**Corah, L. R.; Quealy, A.P.; Dunn, T.G.; Kaltenbach, C.C.** 1974. Prepartum and postpartum levels of progesterone and estradiol in beef heifers fed two levels of energy. *Journal of Animal Science*, 39(2):380-385. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1974.392380x>

**Cleys E. R., Halleran J. L., McWhorter E., Hergenreder J., Enriquez V. A., Da Silveira J. C.; Bruemmer, J. E.; Winger, Q.A.; Bouma, G. J.** 2014. Identification of microRNAs in exosomes isolated from serum and umbilical cord blood, as well as placentomes of gestational day 90 pregnant sheep. *Molecular reproduction and development*, 81(11):983-93. doi: <https://doi.org/10.1002/mrd.22420>

**Clifton, V.L.** 2010. Sex and the human placenta: mediating differential strategies of fetal growth and survival. *Placenta*, 31: S33-S39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2009.11.010>

**Davies, M. J.** 2005. Fetal programming: the perspective of single and twin pregnancies. *Reproduction, Fertility and Development*, 17(3):379-386. doi: <https://doi.org/10.1071/RD04101>

**Di Renzo, G.C.; Rosati, A.; Sarti, R.D; Cruciani, L.; Cutuli, A.M.** 2007. Does fetal sex affect pregnancy outcome? *Gender medicine*, 4(1):19-30. doi: [https://doi.org/10.1016/S1550-8579\(07\)80004-0](https://doi.org/10.1016/S1550-8579(07)80004-0)

**Doornbos, D. E.; Bellows, R. A.; Burfening, P.J.; Knapp, B. W.** 1984. Effects of dam age, prepartum nutrition, and duration of labor on productivity and postpartum *Reproduction* in beef females. *Journal of Animal Science*, 59(1):1-10. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1984.5911>

**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(Suppl\_13):E51-E60. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2311>

**Duarte, M. S.; Gionbelli, M. P.; Paulino, P. V. R.; Serão, N. V. L.; Nascimento, C. S.; Botelho, M. E.; Martins, T. S.; Filho, S. C. V.; Dodson, M. V.; Guimarães, S. E. F.; Du, M.** 2014. Maternal overnutrition enhances mRNA expression of adipogenic markers and collagen deposition in skeletal muscle of beef cattle fetuses. *Journal of Animal Science*, 92(9):3846-3854. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7568>

**Elmen, J.; Lindow, M.; Silaharoglu, A.; Bak, M.; Christensen, M.; Lind-Thomsen, A.; Hedtjörn, M.; Hansen, J. B.; Hansen, H. F.; Straarup, E. M.; McCullagh, K.; Kearney, P.; Kauppinen, S.** 2007. Antagonism of microRNA-122 in mice by systemically administered LNA-antimiR leads to up-regulation of a large set of predicted target mRNAs in the liver. *Nucleic Acid Research*, 36(4):1153-1162. doi: <https://doi.org/10.1093/nar/gkm1113>

**Fernández-Hernando, C.; Suárez, Y.; Rayner, K. J.; Moore, K. J.** 2011. MicroRNAs in lipid metabolism. *Current opinion in Lipidology*, 22:86-92. doi: [10.1097/MOL.0b013e3283428d9d](https://doi.org/10.1097/MOL.0b013e3283428d9d)

**Ferrell, C. L.** 1991. Maternal and fetal influences on uterine and conceptus development in the cow: I. Growth of tissues of the gravid uterus. *Journal of Animal Science*, 69(5):1945-1953. doi: <https://doi.org/10.2527/1991.6951945x>

**Fontes, P. L. P.; Henry, D. D.; Ciriaco, F. M.; Oosthuizen, N.; Canal, L.B.; Sanford, C. D.; Mercadante, V. R. G.; Timlin, C.L.; Ealy, A. D.; Johnson, S. E.; DiLorenzo, N.; Lamb, G.C.** 2017. Impact of Fetal Versus Maternal Contributions of *Bos indicus* and *Bos taurus* Genetics on Fetal Embryonic Development. *Florida Beef Research Report*, 9.



- Ford, S. P.; Hess, B. W.; Schwope, M. M.; Nijland, M. J.; Gilbert, J. S.; Vonnahme, K. A.; Means, W. J.; 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>
- Fowden, A. L.; Forhead, A. J.** 2004. Endocrine mechanisms of intrauterine programming. *Reproduction*, 127(5):515-526. doi: <https://doi.org/10.1530/rep.1.00033>
- Funston, R. N.; Larson, D. M.; Vonnahme, K. A.** 2010. Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance: Implications for beef cattle production. *Journal of Animal Science*, 88(Suppl\_13): E205-E215. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2351>
- Gao, F.; Liu, Y. C.; Hou, X. Z.** 2009. Effect of maternal undernutrition during late pregnancy on growth and development of ovine fetal visceral organs. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 22(12):1633-1639. doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.90131>
- Gicquel, C.; El-Osta, A.; Le Bouc, Y.** 2008. Epigenetic regulation and fetal programming. *Best practice and research Clinical Endocrinology Metabolism*, 22(1):1-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.beem.2007.07.009>
- Godfrey, K. M.** 2002. The role of the placenta in fetal programming - A review. *Placenta*, 23(Suppl. A):S20-S27. doi: <https://doi.org/10.1053/plac.2002.0773>
- Godfrey, K. M.; Barker, D. J.** 2000. Fetal nutrition and adult disease. *The American journal of clinical nutrition*, 71(5): 1344S-1352S. doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.5.1344s>
- Gong, L.; Pan, Y. X.; Chen, H.** 2010. Gestational low protein diet in the rat mediates Igf2 gene expression in male offspring via altered hepatic DNA methylation. *Epigenetics*, 5(7):619-626. doi: <https://doi.org/10.4161/epi.5.7.12882>
- Hafez, E. S. E.; Dyer, I. A.; Jainudeen, M. R.** 1968. Effect of maternal caloric intake on fetal development in beef cattle. *American Journal of Veterinary Research*, 29: 2281-2285.
- Hales, C. N.; Barker, D. J.** 1992. Type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus: the thrifty phenotype hypothesis. *Diabetologia*, 35(7): 595-601.
- Heasman, L.; Clarke, L.; Firth, K.; Stephenson, T.; Symonds, M. E.** 1998. Influence of restricted maternal nutrition in early to mid gestation on placental and fetal development at term in sheep. *Pediatric Research*, 44:546-551.
- Henrion-Caude, A.; Girard, M.; Amiel, J.** 2012. MicroRNAs in genetic disease: rethinking the dosage. *Current gene therapy*, 12(4): 292-300. doi: <https://doi.org/10.2174/156652312802083602>
- Houghton, P. L.; Lemenager, R. P.; Horstman, L. A.; Hendrix, K. S.; Moss, G. E.** 1990. Effects of body condition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. *Journal of Animal Science*, 68(5):1438-1446. doi: <https://doi.org/10.2527/1990.6851438x>
- Jansson, N.; Pettersson, J.; Haafiz, A.; Ericsson, A.; Palmberg, I.; Tranberg, M.; Ganapathy, V.; Powell, T.L.; Jansson, T.** 2006. Down-regulation of placental transport of *Amino Acids* precedes the development of intrauterine growth restriction in rats fed a low protein diet. *The Journal of physiology*, 576:935-946. doi: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.550004>
- Jones, H. N.; Woollett, L. A.; Barbour, N.; Prasad, P. D.; Powell, T. L.; Jansson, T.** 2009. High-fat diet before and during pregnancy causes marked up-regulation of placental nutrient transport and fetal overgrowth in C57/BL6 mice. *The FASEB Journal*, 23:271-278. doi: <https://doi.org/10.1096/fj.08-116889>

- Kroker, G. A.; Cummins, L. J.** 1979. The effect of nutritional restriction on Hereford heifers in late pregnancy. *Australian Veterinary Journal*, 55(10): 467-474. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1979.tb00371.x>
- Latronico, M. V.; Condorelli, G.** 2009. MicroRNAs and cardiac pathology. *Nature Reviews Cardiology*, 6(6):418-429.
- Leiser, R.; Krebs, C.; Klisch, K.; Ebert, B.; Dantzer, V.; Schuler, G.; Hoffmann, B.** 1997. Fetal villosity and microvasculature of the bovine placentome in the second half of gestation. *The Journal of Anatomy*, 191(4):517-527. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.1997.19140517.x>
- LeMaster, C. T.; Taylor, R. K.; Ricks, R. E.; Long, N. M.** 2017. The effects of late gestation maternal nutrient restriction with or without protein supplementation on endocrine regulation of newborn and postnatal beef calves. *Theriogenology*, 87(1):64-71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.08.004>
- Lemley, C. O.; Hart, C. G.; Lemire, R. L.; King, E. H.; Hopper, R. M.; Park, S. B.; Rude, B. J.; Burnett, D. D.** 2018. Maternal nutrient restriction alters uterine artery hemodynamics and placentome vascular density in *Bos indicus* and *Bos taurus*. *Journal of Animal Science*, 96(11):4823-4834. doi: <https://doi.org/10.1093/jas/sky329>
- 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: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2512>
- Long, N.M.; Pratt, S. L.** 2017. Effects of maternal nutrient restriction during either the first or second trimester on bovine fetal adipose tissue microRNA at the end of mid-gestation. *Journal of Animal Science*, 95 (supplement4), 221
- Long, N. M.; Vonnahme, K. A.; Hess, B. W.; Nathanielsz, P. W.; Ford, S. P.** 2009. Effects of early gestational undernutrition on fetal growth, organ development, and placentomal composition in bovine. *Journal of Animal Science*, 87(6):1950-1959. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1672>
- Lunney, L.H.** 1998. Compensatory placental growth after restricted maternal nutrition in early pregnancy. *Placenta*, 19(1):105-111. doi: [https://doi.org/10.1016/S0143-4004\(98\)90105-9](https://doi.org/10.1016/S0143-4004(98)90105-9)
- Luo, S. S.; Ishibashi, O.; Ishikawa, G.; Ishikawa, T.; Katayama, A.; Mishima, T.; Takizawa, T.; Shighihara, T.; Goto, T.; Izumi, A.; Ohkuchi, A.; Matsubara, S.; Takeshita, T.; Takizawa, T.** 2009. Human villous trophoblasts express and secrete placenta-specific microRNAs into maternal circulation via exosomes. *Biology of reproduction*, 81(4):717-729. doi: <https://doi.org/10.1095/biolreprod.108.075481>
- Martin, G. S.; Carstens, G. E.; Taylor, T. L.; Sweatt, C. R.; Eli, A. G.; Lunt, D. K.; Smith, S. B.** 1997. Prepartum protein restriction does not alter norepinephrine-induced thermogenesis or brown adipose tissue function in newborn calves. *The Journal of Nutrition*, 127(10): 1929-1937. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/127.10.1929>
- McCarty, K. J.; DeCarlo, A. N.; Ricks, R.E.; Pratt, S. L.; Long, N. M.** 2019. Effects of maternal nutrient restriction during gestation on bovine serum microRNA abundance. In: ASAS-CSAS national meeting (2019, Texas, USA).
- McMillen, I.C.; Robinson, J. S.** 2005. Developmental origins of the metabolic syndrome: prediction, plasticity, and programming. *Physiological reviews*, 85(2):571-633. doi: <https://doi.org/10.1152/physrev.00053.2003>

- Murphy, V. E.; Gibson, P. G.; Giles, W. B.; Zakar, T.; Smith, R.; Bisits, A. M.; Kessell, C. G.; Clifton, V. L.** 2003. Maternal asthma is associated with reduced female fetal growth. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 168(11):1317-1323. doi: <https://doi.org/10.1164/rccm.200303-374OC>
- Naaktgeboren, C.; De Vries, I. J.; Stegeman, J. H.; Kok, K.; Beelen, R.** 1975. Developmental influences on the composition of fetal fluids in sheep, with special reference to dysmaturity. *Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie*, 92:51-66. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1975.tb00514.x>
- Nathanielsz, P. W.; Poston, L.; Taylor, P. D.** 2007. *In utero* exposure to maternal obesity and diabetes: Animal models that identify and characterize implications for future health. *Obstetrics and gynecology clinics of North America*, 34(2):201-212 doi: <https://doi.org/10.1016/j.ogc.2007.03.006>
- Neel, J. V.** 1962. Diabetes mellitus: a "thrifty" genotype rendered detrimental by "progress"? *American journal of human genetics*, 14(4): 353-362.
- Neel, J. V.** 1999. The "thrifty genotype" in 1998. *Nutrition Reviews*, 57(5): S2-S9.
- NRC.** 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7 th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- O'rourke, P. K.; Entwistle, K. W.; Arman, C.; Esdale, C. R.; Burns, B. M.** 1991. Fetal development and gestational changes in *Bostaurus* and *Bosindicus* genotypes in the tropics. *Theriogenology*, 36(5):839-853. doi: [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(91\)90350-M](https://doi.org/10.1016/0093-691X(91)90350-M)
- Perry, V. E. A.; Norman, S. T.; Owen, J. A.; Daniel, R. C. W.; Phillips, N.** 1999. Low dietary protein during early pregnancy alters bovine placental development. *Animal Reproduction Science*, 55(1): 13-21. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(98\)00157-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(98)00157-2)
- Pond, W.G.; Maurer, R. R.; Klindt, J.** 1991. Fetal organ response to maternal protein deprivation during pregnancy in swine. *The Journal of Nutrition*, 121(4):504-509. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/121.4.504>
- Prior, R. L.; Scott, R. A.; Laster, D. B.; Champion, D. R.** 1979. Maternal Energy Status and Development of Liver and Muscle in the Bovine Fetus. *Journal of Animal Science*, 48:1538-1545. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1979.4861538x>
- Pugh, D. G.; Schumacher, J.** 1993. Feeding and nutrition of brood mares. The Compendium on continuing education for the practicing veterinarian (USA).
- Rasby, R. J.; Wettemann, R. P.; Geisert, R. D.; Rice, L. E.; Wallace, C. R.** 1990. Nutrition, body condition and *Reproduction* in beef cows: Fetal and placental development, and estrogens and progesterone in plasma. *Journal of Animal Science*, 68(12):4267-4276. doi: <https://doi.org/10.2527/1990.68124267x>
- Rayner, K. J.; Moore, K.J.** 2014. MicroRNA control of high-density lipoprotein metabolism and function. *Circulation Research*, 114:183-192. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.114.300645>
- Reik, W., Constância, M., Fowden, A., Anderson, N., Dean, W., Ferguson Smith, A.; Tycko, B.; Sibley, C.** 2003. Regulation of supply and demand for maternal nutrients in mammals by imprinted genes. *The Journal of physiology*, 547:35-44. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2003.00035.x>
- Reynolds, L. P.; Caton, J. S.; Redmer, D. A.; Grazul Biliska, A. T., Vonnahme, K. A., Borowicz, P. P.; Luther, J. S.; Wallace, J. M.; Wu, G.; Spencer, T. E.** 2006. Evidence for altered placental blood flow and vascularity in compromised pregnancies. *The Journal of physiology*, 572(Suppl. 1):51-58. doi: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.104430>

**Reynolds, L. P.; Redmer, D.A.** 1995. Utero-placental vascular development and placental function. *Journal of Animal Science*, 73(6):1839-1851. doi: <https://doi.org/10.2527/1995.7361839x>

**Robinson, D. L.; Café, L. M.; Greenwood, P. L.** 2014. *Meat Science And Muscle Biology Symposium: Developmental programming in cattle: Consequences for growth, efficiency, carcass, muscle, and beef quality characteristics.* *Journal of Animal Science*, 91(3):1428-1442. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5799>

**Robinson, W.** 2017. Genetic and epigenetic changes in the placenta in intrauterine growth restriction (IUGR). *Placenta*, 57:242. doi:

**Roseboom, T.; de Rooij, S.; Painter, R.** 2006. The Dutch famine and its long-term consequences for adult health. *Early human development*, 82(8):485-491. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2006.07.001>

**Rottiers, V., Najafi-Shoushtari, S. H., Kristo, F., Gurumurthy, S., Zhong, L., Li, Y; Cohen, D.E.; Gerszten, R. E.; Bardeesy, N.; Mostoslavsky, R.; Näär, A. M.** 2012. MicroRNAs in metabolism and metabolic diseases. In Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology, 76:225-233.

**Russell, R. G.; Oteruelo, F. T.** 1981. An ultrastructural study of the differentiation of skeletal muscle in the bovine fetus. *Anatomy and embryology*, 162(4):403-417.

**Santovito, D.; Mezzetti, A.; Cipollone, F.** 2012. MicroRNAs and atherosclerosis: new actors for an old movie. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 22(11):937-943. doi: <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2012.03.007>

**Satterfield, M. C., Dunlap, K. A., Keisler, D. H., Bazer, F. W.; Wu, G.** 2013. Arginine nutrition and fetal brown adipose tissue development in nutrient-restricted sheep. *Amino Acids*, 45(Suppl. 3):489-499.

**Schoknecht, P. A.; Newton, G. R.; Weise, D.E.; Pond, W. G.** 1994. Protein restriction in early pregnancy alters fetal and placental growth and allantoic fluid proteins in swine. *Theriogenology*, 42:217-226. doi: [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(94\)90265-8](https://doi.org/10.1016/0093-691X(94)90265-8)

**Shell, T. M., Early, R. J., Carpenter, J. R., Buckley, B. A.** 1995. Prepartum nutrition and solar radiation in beef cattle: II. Residual effects on postpartum milk yield, immunoglobulin, and calf growth. *Journal of Animal Science*, 73(5):1303-1309. doi: <https://doi.org/10.2527/1995.7351303x>

**Spitzer, J. C; Morrison, D. G.; Wettemann, R.P.; Faulkner, L. C.** 1995. Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows. *Journal of Animal Science*, 73:1251-1257. doi: <https://doi.org/10.2527/1995.7351251x>

**Stark, M. J., Clifton, V. L.; Wright, I. M.** 2009. Neonates born to mothers with pre-eclampsia exhibit sex-specific alterations in microvascular function. *Pediatric research*, 65(3):291.

**Stein, Z., Susser, M., Saenger, G., Marolla, F.** 1975. Famine and human development. The Dutch hunger winter of 1944-1945. New York, NY, US: Oxford University Press.

**Stein, A. D., Zybert, P. A., Van de Bor, M., Lumey, L. H.** 2004. Intrauterine famine exposure and body proportions at birth: the Dutch Hunger Winter. *International Journal of Epidemiology*, 33(4):831-836. doi: <https://doi.org/10.1093/ije/dyh083>

**Sultana, Z., Maiti, K., Aitken, J., Morris, J., Dedman, L., Smith, R.** 2017. Oxidative stress, placental ageing-related pathologies and adverse pregnancy outcomes. *American Journal of Reproductive Immunology*, 77(Suppl. 5):1-10. doi: <https://doi.org/10.1111/aji.12653>

- Symonds, M. E.; Mostyn, A.; Pearce, S.; Budge, H.; Stephenson, T.** 2003. Endocrine and nutritional regulation of fetal adipose tissue development. *The Journal of endocrinology*, 179(3):293-299. doi: 10.1677/joe.0.1790293
- Symonds, M. E.; Sebert, S. P.; Hyatt, M. A.; Budge, H.** 2009. Nutritional programming of the metabolic syndrome. *Nature Reviews Endocrinology*, 5(Suppl. 11):604-610.
- Taylor, R. K.; Mangrum, K. S.; LeMaster, C. T.; Pratt, S. L.; Long, N. M.** 2015. Effects of maternal nutrient restriction on bovine placentome and miRNA expression during mid-gestation. In: ADSAS- ASAS National meeting Abstract (2015, Orlando, Florida, USA)
- Taylor, R. K.; LeMaster, C. T.; Mangrum, K. S.; Ricks, R. E.; Long, N. M.** 2018. Effects of maternal nutrient restriction during early or mid-gestation without realimentation on maternal physiology and foetal growth and development in beef cattle. *Animal*, 12(2):312-321. doi: DOI:10.1017/S175173111700163X
- Tudor, G. D.; O'Rourke, P. K.** 1980. The effect of pre- and post-natal nutrition on the growth of beef cattle 2. The effect of severe restriction in early post-natal life on growth and feed efficiency during recovery. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31(1), 179-189.
- Uetake, K.** 2013. Newborn calf welfare: A review focusing on mortality rates. *Animal Science Journal*, 84(Suppl. 2):101-105. doi: <https://doi.org/10.1111/asj.12019>
- Vatten, L.J.; Skjærven, R.** 2004. Offspring sex and pregnancy outcome by length of gestation. *Early human development*, 76(1), 47-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2003.10.006>
- Vonnahme, K. A.; Hess, B. W.; Hansen, T. R.; McCormick, R. J.; Rule, D. C.; Moss, G. E.; Murdoch, W. J.; Nijland, M.J.; Skinner, D. C.; Nathanielsz, P. W.; Ford, S. P.** 2003. Maternal undernutrition from early- to mid-gestation leads to growth retardation, cardiac ventricular hypertrophy, and increased liver weight in the fetal sheep. *Biology of reproduction*, 69(1):133-140. doi: <https://doi.org/10.1095/biolreprod.102.012120>
- Vonnahme, K. A.; Zhu, M. J.; Borowicz, P. P.; Geary, T. W.; Hess, B. W.; Reynolds, L. P.; Caton, J. S.; Means, W. J.; Ford, S. P.** 2007. Effect of early gestational undernutrition on angiogenic factor expression and vascularity in the bovine placentome. *Journal of Animal Science*, 85(Suppl. 10):2464-2472. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-805>
- Vonnahme K. A.; Wilson, M. E.; Ford, P. S.** 2001. Relationship between placental vascular endothelial growth factor expression and placental/endometrial vascularity in the pig. *Biology of reproduction*, 64(6): 1821-1825. doi: <https://doi.org/10.1095/biolreprod64.6.1821>
- Waldhalm, D. G., Hall, R. F., DeLong, W. J., Olson, D. P.; Everson, D. O.** 1979. Restricted dietary protein in pregnant beef cows: I. The effect on length of gestation and calthood mortality. *Theriogenology*, 12:61-68. doi: [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(79\)90010-4](https://doi.org/10.1016/0093-691X(79)90010-4)
- Wallace, L. R.** 1946. The effect of diet on foetal development. *Journal of Physiology*, 104: 34P-35P.
- Wallace, J. M., Bourke, D. A., Aitken, R. P., Leitch, N.; Hay Jr, W. W.** 2002. Blood flows and nutrient uptakes in growth-restricted pregnancies induced by overnourishing adolescent sheep. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 282(4): R1027-R1036. doi: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00465.2001>

**Warrington, B. G., Byers, F. M., Schelling, G. T., Forrest, D. W., Baker, J. F., Greene, L. W.** 1988. Gestation nutrition, tissue exchange and maintenance requirements of heifers. *Journal of Animal Science*, 66(3):774–782. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1988.663774x>

**Wu, G.; Bazer, F. W.; Wallace, J. M.; Spencer, T. E.** 2006. BOARD-INVITED REVIEW: Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. *Journal of Animal Science*, 84(9):2316–2337 doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-156>

**Yan, X.; Zhu, M. J.; Dodson, M. V.; Du, M.** 2013. Developmental programming of fetal skeletal muscle and adipose tissue development. *Journal of genomics*, 1:29. doi: [10.7150/jgen.3930](https://doi.org/10.7150/jgen.3930)

**Zhang, L.; Long, N. M.; Hein, S. M.; Ma, Y.; Nathanielsz, P. W.; Ford, S. P.** 2011. Maternal obesity in ewes results in reduced fetal pancreatic  $\beta$ -cell numbers in late gestation and decreased circulating insulin concentration at term. *Domestic animal endocrinology*, 40(1): 30-39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2010.08.004>

**Zhu, M. J., Du, M., Hess, B. W., Means, W. J., Nathanielsz, P. W., Ford, S. P.** 2007. Maternal nutrient restriction upregulates growth signaling pathway in the cotyledonary artery of cow placentomes. *Placenta*, 28:361-368. doi: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2006.04.005>

**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. *The Journal of physiology*, 575(1), 241-250. doi: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.112110>

## **CAPÍTULO I**

# **EFFECTO DE LA RESTRICCIÓN NUTRICIONAL DURANTE LA GESTACIÓN SOBRE LA PROGENIE EN VACUNOS**





# EFECTO DE LA RESTRICCIÓN PROTEICA DE LAS VACAS ANGUS DURANTE LA GESTACIÓN TARDÍA: RENDIMIENTO REPRODUCTIVO POSTERIOR Y PRODUCCIÓN DE LECHE.

S. López Valiente<sup>1</sup>, S. Maresca<sup>1</sup>, A. M. Rodríguez<sup>1</sup>, R. A. Palladino<sup>2,3</sup>  
I. M. Lacau-Mengido<sup>4</sup>, N. M. Long<sup>5</sup>, G. Quintans<sup>6</sup>

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el efecto del nivel de proteína cruda (PC) suministrado durante la gestación tardía sobre el rendimiento reproductivo y la producción de leche en vacas multíparas. Se utilizaron 68 vacas Angus preñadas. A 121 días antes del parto, las vacas fueron bloqueadas por PV ( $409 \pm 57$  kg) y la fecha de parto esperada, asignadas aleatoriamente a una dieta baja en proteínas (LP = 6% PC) o alta en proteínas (HP = 12% PC); y asignadas a 12 corrales por tratamiento. Después del parto, todas las vacas fueron manejadas en un solo grupo hasta el destete. El peso vivo y la condición corporal se determinaron al comienzo del experimento, al parto y al destete. La progesterona se cuantificó semanalmente para indicar la actividad lútea y estimar el intervalo al primer estro. La producción de leche se estimó hasta el destete. Las vacas HP tuvieron mayor ganancia de peso vivo durante el período previo al parto ( $P < 0,01$ ) y tendieron a ganar más CC ( $P = 0,06$ ) que las vacas LP. La dieta preparto no afectó la duración de la gestación ( $P = 0,44$ ) o el intervalo desde el parto hasta el inicio de la actividad lútea ( $P = 0,35$ ). Las tasas de preñez, calidad de la leche y la producción no fueron influenciadas por los tratamientos de alimentación. En conclusión, el nivel de proteína preparto en vacas para carne multíparas afectó el cambio de peso

vivo al parto, sin consecuencias sobre el rendimiento reproductivo, producción y calidad de la leche.

**Palabras clave:** vaca multípara, restricción proteica, gestación tardía, producción de leche, reproducción.

## ABSTRACT

The effect of level of CP fed during late gestation on reproductive performance and milk production was studied in multiparous cows. Sixty-eight pregnant Angus cows were used. At 121 d prepartum, cows were blocked by BW ( $409 \pm 57$  kg) and expected calving date, randomly assigned to a low-protein (LP = 6% CP) or high-protein diet (HP = 12% CP), and allocated to 12 pens per treatment. After parturition, all cows were managed in a single group until weaning. Body weight and BCS were determined at the start of the experiment, at calving, and at weaning. Progesterone was quantified weekly to indicate luteal activity and estimate interval to first estrus. Milk production was measured until weaning. The HP cows had greater BW gain during the prepartum period ( $P < 0.01$ ) and tended to gain more BCS ( $P = 0.06$ ) than LP cows. The prepartum diet did not affect gestation length ( $P = 0.44$ ) or interval from calving to the onset of luteal activity ( $P = 0.35$ ). Pregnancy rates, milk quality, and production were not

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Cuenca del Salado, Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina

<sup>4</sup> Laboratorio de Regulación Hipofisaria, Instituto de Biología y Medicina Experimental (CONICET), Buenos Aires, Argentina

<sup>5</sup> Departamento de Ciencias Animales y Veterinarias, Universidad de Clemson, Carolina del Sur, Estados Unidos de América.

<sup>6</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Treinta y Tres, Uruguay.

influenced by dietary treatments. In conclusion, protein level prepartum in multiparous beef cows affected the BW change at calving, without consequences on reproductive performance and milk quality and yield.

**Keywords:** multiparous cow, protein undernutrition, late gestation, milk production, reproduction.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cría bovina en Argentina se manejan bajo condiciones de pastoreo extensivos. La calidad de los forrajes a menudo es deficiente (Sala *et al.*, 1981), particularmente en invierno, lo que lleva a las vacas de servicios de primavera a tener períodos de desnutrición durante la segunda mitad de la gestación. Se ha demostrado que la suplementación de proteínas durante la gestación tardía conduce a cambios positivos de peso vivo y estado corporal en vacas y vaquillonas (Stalker *et al.*, 2006; Wilson *et al.*, 2015a, b). La nutrición durante el período preparto es uno de los factores más importantes que afectan la duración de anestro posparto y las tasas de preñez posteriores en vacas de carne (Wettemann *et al.*, 2003). Por ejemplo, las dietas bajas en proteína cruda 150 días antes del parto hasta 40 días después del parto afectaron negativamente el rendimiento reproductivo en vaquillonas (Sasser *et al.*, 1988). Estudios previos en ganado lechero han demostrado que el estado corporal al parto y durante la lactancia temprana están asociados con la calidad de la leche (Roche *et al.*, 2007), pero esta respuesta no parece ser similar en las vacas para carne, aunque hay poca investigación en dicho tipo de ganado (Corah *et al.*, 1975). Lake *et al.* (2005) apoyaron el concepto de que la respuesta de la leche en las vacas de carne es diferente a la de las vacas lecheras. El objetivo de este experimento fue determinar el efecto del nivel de nutrición de proteínas durante los últimos 120 días antes del parto en el peso vivo y estado corporal, producción y composición de leche, rendimiento reproductivo y metabolitos sanguíneos y concentraciones

hormonales en vacas Angus maduras durante los últimos 4 meses de gestación hasta 6 meses después del parto. La hipótesis de este experimento fue que una reducción del 35% de la proteína cruda del requerimiento en la dieta de las vacas antes del parto disminuirá el peso vivo y estado corporal y conduce a alteraciones en la producción de leche y reproducción postnatal en comparación con vacas no restringidas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Campo Experimental de la Cuenca del Salado INTA (Buenos Aires, Argentina: 37 ° 05'S 57 ° 52'O). Todos los procedimientos fueron aprobados por CICUAE INTA-CERBAS n° 87 (Comité Institucional de Atención y Uso de animales experimentales de la región sur de Buenos Aires) Buenos Aires, Argentina. Sesenta y ocho vacas Angus múltiparas (peso inicial de 409 ± 57 kg) que acababan de parir a fines del invierno o principios de la primavera, se sincronizaron para una inseminación artificial (IA) a tiempo fijo utilizando semen de un solo padre Angus. Quince días después de la IA, se usó un solo toro Angus para un período de monta natural de 15 días. Treinta días después del final del período de reproducción natural, se determinó la edad gestacional mediante ecografía transrectal. Las vacas fueron manejadas en pasturas de festuca durante la gestación temprana a media. A 121 días antes del parto, las vacas fueron bloqueadas por peso vivo y la fecha esperada de parto y asignadas aleatoriamente a una dieta baja en proteínas (6% proteína cruda en base a MS; LP) o alta en proteínas (12% proteína cruda en base a MS; HP). Las vacas fueron asignadas a 24 corrales (12 corrales por tratamiento) a una tasa de 2 o 3 vacas por corral. Las vacas fueron alimentadas para cumplir con el 100% de sus requerimientos de EM (NRC, 2000). Las raciones se suministraron como TMR diariamente a las 09:00 horas. Después del parto, todas las vacas fueron manejadas en un solo grupo y pastorearon avena y pasturas cultivadas hasta el destete. Noventa y

dos días después del parto, 51 vacas fueron sometidas a IA utilizando el protocolo de sincronización. Quince días después del final de la IA, todas las vacas fueron expuestas a toros fértiles en una proporción de aproximadamente 1 toro por 30 vacas durante 90 días. La tasa de preñez de la IATF y del servicio natural se determinó mediante ecografía transrectal 28 días después del final del servicio natural. El peso vivo y estado corporal (CC, 1 = demacrado a 9 = obeso; Wagner *et al.*, 1988) se registraron en el momento de la asignación del grupo, al momento del parto (menos de 12 h después del parto) y al destete. La duración de la gestación se determinó solo en vacas preñadas de IA (LP: 18 vacas, HP: 17 vacas). La producción de leche se registró en la misma vaca por corral en los días 20, 34, 47, 75, 103, 135, 165 y 221 ( $\pm 10,9$ ) posparto. A las 12:00 horas, las vacas se separaron de los terneros y cada vaca se inyectó por vía intramuscular con 10 unidades internacionales de oxitocina (Over, San Vicente, Estado de Santa Fe, Argentina) para facilitar la bajada de la leche. Las vacas fueron ordeñadas usando una máquina de ordeño portátil 5 minutos después de la inyección. A los terneros se les colocaron tablillas nasales para evitar la succión y se quedaron con sus madres en el mismo potrero. Al día siguiente, aproximadamente a las 06:00 horas, las vacas fueron ordeñadas nuevamente utilizando el protocolo descrito por Quintans *et al.* (2010) La producción de leche se midió durante la lactancia utilizando un medidor de leche en línea (TrueTest, Auckland, Nueva Zelanda) y se recolectaron muestras para evaluar proteínas, grasas, lactosa, sólidos totales (IDF 141C: 2000 Bentley Instruments, Chaska, MN) y urea (Chemspec 150, Bentley Instruments). Se obtuvieron curvas de lactancia individuales para cada vaca por ecuación cuadrática, la semana de máximo rendimiento y persistencia de la lactancia (g / d), que se definió como el cambio diario promedio lineal en la producción de leche (g / d) entre la lactancia máxima y el destete (Jenkins *et al.*, 2000). Semanalmente se recolectaron muestras sanguíneas desde el parto hasta 130 días

después del parto para determinar las concentraciones de progesterona. Se consideró que el inicio de la actividad lútea ovárica se produjo en la primera de las 2 fechas de concentración de progesterona  $\geq 1$  ng / ml. La progesterona se determinó mediante inmunoensayo enzimático quimioluminiscente (IMMULITE 2000, Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Alemania), y el CV intra e interensayo fue inferior al 7 y al 9,5%, respectivamente.

El arreglo experimental fue un diseño de bloques completos al azar, donde las vacas fueron bloqueadas de acuerdo con el peso vivo y la fecha esperada de parto. Para todos los datos, el corral se consideró la unidad experimental. Todos los análisis de datos se realizaron usando los procedimientos lineales mixtos del software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC), donde el tratamiento y el bloque fueron el efecto fijo y el efecto aleatorio anidado en el bloque. Para el contenido de proteínas, grasas, urea, sólidos totales y lactosa en la leche se utilizó un procedimiento MIXED de SAS utilizando medidas repetidas. Los modelos incluyeron los efectos del tratamiento, la fecha de preñez (IA o toros), el tiempo de medición y las interacciones. La tasa de preñez a IA y final se analizaron mediante la prueba de Fisher. La significancia se declaró en  $P \leq 0,05$ , con una tendencia en  $P \leq 0,10$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto de la suplementación de PC durante la gestación tardía sobre el peso vivo y estado corporal de las vacas se presenta en la cuadro 1. Se observaron diferentes patrones en PV y CC entre vacas de ambos tratamientos durante el período preparto. Las vacas HP presentaron una mayor ganancia diaria de PV durante el período de tratamiento ( $P < 0,01$ ) y tendieron a ganar más CC ( $P = 0,06$ ) que las vacas LP. La cantidad de proteína durante el período preparto no afectó el cambio de PV y CC durante la lactancia ( $P = 0,15$  y  $0,17$ ; respectivamente). Las vacas alimentadas con el nivel de proteína más alto ganaron

casi 19 kg desde el inicio de los tratamientos hasta el parto, mientras que las vacas alimentadas con la dieta de nivel más bajo de proteína perdieron 3 kg durante el mismo período. El suministro de proteínas a las bacterias del rumen aumenta el rendimiento energético de las fuentes de fibra bajas en proteínas como ensilaje de maíz y, además, mejora la acumulación de nitrógeno en el cuerpo a través de una mayor síntesis de proteínas microbianas y el consiguiente aumento en el flujo de proteínas duodenales. Nuestros resultados son similares a los reportados por Stalker *et al.* (2006) y Larson *et al.* (2009), quienes repor-

taron que vacas que pastoreaban pastizales de invierno y recibieron 0,45 kg / día de un suplemento con proteína cruda al 42% eran más pesados que las vacas alimentadas con una menor cantidad de proteínas. En estos estudios, el efecto de la proteína del suplemento puede confundirse con una mayor ingesta de forraje. En nuestro caso, la mejora de la ganancia de peso corporal y estado corporal en vacas HP puede atribuirse por completo al mayor nivel de proteína consumida (62 frente a 117 g / kg), dado que el consumo de materia seca se controló durante el período experimental (7,5 kg / d).

**Cuadro 1.** Peso vivo y estado corporal durante el parto y posparto en vacas multíparas consumiendo dietas de bajo o alto contenido de proteína durante los 120 días previos al parto.

	Tratamientos <sup>1</sup>		RMSE	P-valor
	LP	HP		
	Media	Media		
<b>Peso Vivo (kg)</b>				
Inicial	415	402	58,1	0,11
Parto	411	423	55,2	0,23
Cambio durante el tratamiento	-3	19	14,3	<0,01
Destete	430	423	46,9	0,47
Cambio durante la lactancia	20	0	27,9	0,15
<b>Estado corporal</b>				
Inicial	4,3	4,3	0,5	0,79
Parto	4,9	5,5	0,6	0,70
Cambio durante el tratamiento	0,5	1,0	0,3	0,06
Destete	4,9	4,8	0,5	0,55
Cambio durante la lactancia	0,0	-0,4	0,5	0,17

<sup>1</sup>LP = Baja proteína (6% PC); HP = Alta proteína (12% PC).

Cuando las vacas se suplementan con proteína cruda durante la gestación tardía, la longitud de la gestación puede disminuir. Funston *et al.* (2010) y Stalker *et al.* (2006) señalaron que las vacas suplementadas con proteína tenían crías que nacieron 3 o 4 días antes que sus contrapartes sin suplementar. Esto podría atribuirse a un aumento en el desarrollo fetal durante el período de suplementación. Esto no se observó en este experimento en el que el nivel de proteína en

la dieta durante la gestación tardía no afectó ( $P = 0,44$ ) la duración de la gestación de las vacas en diferentes niveles nutricionales. Similar a nuestro resultado, Amanlou *et al.*, (2011) y Van Emon *et al.*, (2014) informaron que la duración de la gestación no se vio alterada por la suplementación de proteína en las ovejas durante la gestación tardía. Las medias de los parámetros reproductivos se presentan en el cuadro 2. La nutrición con proteína antes del parto no influyó ( $P = 0,35$ )

en los días desde el parto hasta el inicio de la actividad lútea ovárica. Además, la cantidad de proteína preparto no afectó la tasa de inicio de la preñez por IA (48,9%,  $P = 0,41$ ) ni la tasa de preñez final (94,7%,  $P = 0,48$ ). Se ha demostrado que el estado corporal en el parto afecta las tasas de preñez posteriores y el intervalo desde el parto hasta el reinicio de la actividad lútea (Wettemann *et al.*, 2003). Richards *et al.*, (1986), usando una escala de estado corporal de 1 a 9, encontraron que las vacas con un estado corporal de 5 o más en el momento del parto quedan preñadas antes que las vacas con estado corporal de 4. En nuestro experimento, el estado corporal tendió a cambiar debido al tratamiento, pero no hubo diferencias en el porcentaje de preñez, ni en el intervalo al primer estro cuando las vacas fueron alimentadas con diferentes niveles de proteína durante la gestación tardía. Esto probablemente se deba a que las vacas en ambos tratamientos parieron con un estado corporal cercano a 5 o más y fueron vacas maduras múltiparas. Estos resultados están de acuerdo con otros autores que no encontraron ningún efecto de las dietas preparto sobre el rendimiento reproductivo, con vacas paridas con un estado corporal de 5 o más (Stalker *et al.*, 2006; Larson *et al.*, 2009; Radunz *et al.*, 2010; Wilson *et al.*, 2015a, b).

La respuesta en producción y calidad de leche se presenta en el cuadro 3. Las vacas que recibieron la dieta HP durante los últimos 4 meses de gestación tuvieron una producción diaria de leche y una producción total ajustada a 210 días similar a la de las vacas LP ( $P = 0,30$  y  $P = 0,77$ ; respectivamente). Al igual que la producción máxima y la semana de producción máxima que fueron similares para las vacas en ambos tratamientos ( $P = 0,38$  y  $P = 0,92$ ; respectivamente). La persistencia de la lactancia fue similar para vacas LP y HP ( $P = 0,93$ ). De hecho, la curva de leche fue similar para las vacas en ambos tratamientos ( $P > 0,65$ ). La composición de la leche, grasa, proteína, urea, lactosa y sólidos totales no se vio afectada por el tratamiento nutricional durante el ensayo ( $P \geq 0,12$ ). Múltiples estudios han evaluado el

efecto de la nutrición durante la gestación en el rendimiento reproductivo de las vacas de carne. Sin embargo, pocos han investigado los efectos de la nutrición durante la gestación en la producción y calidad de la leche, y aún menos han trabajado con la nutrición proteica. La producción de leche puede verse afectada por la nutrición durante la gestación tardía, el estado corporal al parto y la nutrición posparto. Un aumento de la ingesta de proteínas antes del parto se ha asociado con una respuesta diferencial en términos de producción y calidad de leche en el ganado lechero (Chew *et al.*, 1984; Bell *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2002; Kokkonen, 2014). Sin embargo, una respuesta similar no parece ocurrir en vacas de carne como se observó en nuestro experimento. Esto está de acuerdo con Larson *et al.* (2009), quienes no encontraron diferencias en la producción de leche cuando las vacas de carne fueron suplementadas con 0,45 kg / d de un núcleo de 42% de PC durante la gestación tardía. El puntaje de condición corporal alcanzado al parto en este experimento con vacas de carne podría explicar las diferencias encontradas con los estudios de vacas lecheras. La asociación entre el estado corporal al parto y la producción y calidad de leche ha sido ampliamente estudiada en vacas lecheras. Varios estudios han demostrado que esta asociación no es lineal (Roche *et al.*, 2007). Por otro lado, Lake *et al.* (2005) y Radunz *et al.* (2010) observaron una producción de leche similar en vacas de carne con estados corporales de bajo a moderado en el parto. Sin embargo, Quintans *et al.* (2010) encontraron que las vacas con estado corporal moderado (4,8; escala de 1 a 8 unidades) produjeron más leche que las vacas con estados bajos (3,9), posiblemente debido al hecho de que las vacas se manejaron por separado para mantener las diferencias en estado corporal hasta el destete. La falta de resultados consistentes de leche en el ganado de carne podría deberse a la falta de selección genética para movilizar reservas para la producción de leche que se observan en el ganado lechero moderno. Se ha demostrado previamente en vacas lecheras que las diferencias en los niveles de proteína preparto más bajos que nuestro experimento han

resultado en diferencias en la producción de leche (Chew *et al.*, 1984). El nivel de proteína posparto puede negar los efectos de la restricción de proteína preparto. Bell *et al.* (2000) concluyeron que las dietas relativamente altas en proteínas durante la lactancia pueden

enmascarar el efecto de dietas insuficientes en proteínas antes del parto. Los altos niveles de PC en el forraje consumido durante la lactancia temprana en este experimento (PC de 16,3%) podrían haber mitigado los efectos del nivel nutricional preparto.

**Cuadro 2.** Producción y calidad de leche en vacas multíparas consumiendo dietas de bajo o alto contenido de proteína durante los 120 días previos al parto.

	Tratamiento preparto <sup>1</sup>		RMSE	Trat.	Período	Trat. x período
	LP	HP				
	Media	Media				
Producción de leche (kg/día)	5,7	5,3	1,33	0,30	-	-
PL 210d (kg) <sup>2</sup>	1 162	1 130	1,16	0,77	-	-
Pico de producción (kg)	6,5	6,1	0,87	0,38	-	-
Semana del pico de producción	14,5	14,2	1,14	0,92	-	-
Persistencia (g/día)	-22,2	-22,6	1,26	0,93	-	-
Grasa (%)	2,8	2,6	0,61	0,31	<0,001	0,15
Proteína (%)	3,4	3,3	0,11	0,12	<0,001	0,82
Urea (%)	11,2	11,0	1,43	0,33	<0,001	0,91
Lactosa (%)	4,9	4,9	0,16	0,92	<0,001	0,33
Sólidos Totales (%)	12,0	11,8	1,12	0,16	<0,01	0,15

<sup>1</sup> LP = baja proteína (6%PC); HP = alta proteína (12%PC).

<sup>2</sup> PL210d= Producción total ajustada a los 210 días.

En conclusión, la restricción de proteínas durante la gestación tardía no afectó el rendimiento reproductivo posterior y la producción y calidad de la leche. Nuestros resultados indican que no hay disminución en la producción cuando las vacas tienen una restricción moderada de proteínas (36%) durante el último trimestre de gestación, siempre que la energía en la dieta no sea limitante. Si las

vacas hubieran comenzado con un estado corporal más bajo o tenido una mayor capacidad de ordeño, los resultados de este experimento podrían haber sido diferentes. Sin embargo, se necesita más investigación para comprender mejor el efecto de la restricción de proteínas antes del parto en vacas de carne y su interacción con la dieta posparto en condiciones de pastoreo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amanlou, H.; Karimi, A.; Mahjoubi, E.; Milis, C.** 2011. Effects of supplementation with digestible undegradable protein in late pregnancy on ewe colostrums production and lamb output to weaning. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95(5):616–622. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01092.x>
- Bell, A. W.; Burhans, W. S.; Overton, T. R.** 2000. Protein nutrition in late pregnancy, maternal protein reserves and lactation performance in dairy cows. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59(1): 119–126. doi: <https://doi.org/10.1017/S0029665100000148>
- Chew, B. P.; Murdock, F. R.; Riley, R. E.; Hillers, J. K.** 1984. Influence of prepartum dietary crude protein on growth hormone, insulin, *Reproduction* and lactation of Dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 67(2):270–275. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(84\)81299-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81299-0)
- Corah, L. R.; Dunn, T. G.; Kaltenbach, C. C.** 1975. Influence of prepartum nutrition on the reproductive performance of beef females and the performance of their progeny. *Journal of Animal Science*, 41(3):819–824. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1975.413819x>
- Funston, R. N.; Martin, J. L.; Adams, D. C.; Larson, D. M.** 2010. Winter grazing and supplementation of beef cows during late gestation influence heifer progeny. *Journal of Animal Science*, 88(12):4094–4101. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3039>
- Jenkins, T. G.; Ferrell, C. L.; Roberts, A. J.** 2000. Lactation and calf weight traits of mature cross bred cows fed varying daily levels of metabolizable energy. *Journal of Animal Science*, 78(1):7–14. doi: <https://doi.org/10.2527/2000.7817>
- Kokkonen, T.** 2014. Investigation of sources of variation in the effect of prepartum protein supplementation on early lactation performance of dairy cows. *Livestock Science*, 163:41–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.02.008>
- Lake, S. L.; Scholljegerdes, E.J.; Atkinson, R.L.; Nayigihugu, V.; Paisley, S.I.; Rule, D.C.; Moss, G.E.; Robinson, T.J.; Hess B.W.** 2005. Body condition score at parturition and postpartum supplemental fat effects on cows and calf performance. *Journal of Animal Science*, 83(12): 2908–2917. doi: <https://doi.org/10.2527/2005.83122908x>
- 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>
- National Research Council.** 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000. Washington, DC: The National Academies Press. doi: <https://doi.org/10.17226/9791>.
- Park, A. F.; Shirley, J.E.; Titgemeyer, E.C.; Meyer, M.J.; Van-Baale, M.J.; VandeHaar, M.J.** 2002. Effect of protein level in prepartum diets on metabolism and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85(7):1815–1828. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74256-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74256-2)
- Quintans, G.; Banchero, G.; Carriquiry, M.; López-Mazz, C.; Baldi, F.** 2010. Effects of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Animal Production Science*, 50(10):931–938. doi: <https://doi.org/10.1071/AN10021>
- Radunz, A. E.; Fluharty, F. L.; Day, M. L.; Zerbe, H. N.; Loerch, S. C.** 2010. Prepartum dietary energy source fed to beef cows: I. Effects on pre- and postpartum cow performance. *Journal of Animal Science*, 88(8): 2717–2728. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2744>

- Richards, M. W.; Spitzer, J.C.; Warner, M.B.** 1986. Effect of varying levels of postpartum nutrition and body condition at calving on subsequent reproductive performance in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 62(2):300–306. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1986.622300x>
- Roche, J. R.; Lee, J. M.; Macdonald, K. A.; Berry, D. P.** 2007. Relationships among body condition score, body weight, and milk production variables in pasture-based dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90(8):3802–3815. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-740>
- Sala, O.; Deregibus, V. A.; Schlichter, T.; Alippe, H.** 1981. Productivity dynamics of a native grassland in Argentina. *Journal of Range Management*, 34(1):48–51.
- Sasser, R. G.; Williams, R. J.; Bull, R. C.; Ruder, C. A.; Falk, D. G.** 1988. Postpartum reproductive performance in crude protein restricted beef cows: Return to estrus and conception. *Journal of Animal Science*, 66(12):3033–3039. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1988.66123033x>
- 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>
- Van Emon, M. L.; Schauer, C. S.; Lekatz, L. A.; Eckerman, S. R.; Maddock-Carlin, K.; Vonnahme, K. A.** 2014. Supplementing metabolizable protein to ewes during late gestation: I. Effects on ewe performance and offspring performance from birth to weaning. *Journal of Animal Science*, 92(1):339–348. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6851>
- Wettemann, R. P.; Lents, C. A.; Ciccioli, N. H.; White, F. J.; Rubio, I.** 2003. Nutritional- and suckling-mediated anovulation in beef cows. *Journal of Animal Science*, 81(Suppl. 2):E48–E59.
- Wilson, T. B.; Faulkner, D. B.; Shike, D. W.** 2015a. Influence of late gestation drylot rations differing in protein degradability and fat content on beef cow and subsequent calf performance. *Journal of Animal Science*, 93(12):5819–5828. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8805>
- Wilson, T. B.; Schroeder, A. R.; Ireland, F. A.; Faulkner, D. B.; Shike, D. W.** 2015b. Effects of late gestation distillers grains supplementation on fall-calving beef cow performance and steer calf growth and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 93(10):4843–4851. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9228>



# EFECTO DE LA RESTRICCIÓN PROTEICA DE VACAS DURANTE LA GESTACIÓN TARDÍA SOBRE EL CRECIMIENTO POSNATAL, EL METABOLISMO DE GLUCOSA - INSULINA Y LA CONCENTRACIÓN DE IGF-1 DE LA DESCENDENCIA.

S. Maresca<sup>1</sup>, S.O. López Valiente<sup>1</sup>, A. M. Rodríguez<sup>1</sup>, N. M. Long<sup>2</sup>,  
E. Pavan<sup>1</sup>, G. Quintans<sup>3</sup>

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar si la cantidad de proteína suministrada a las vacas durante la gestación tardía afectaría el crecimiento postnatal y provocaría cambios en las concentraciones de glucosa, insulina y factor de crecimiento similar a la insulina. A los 121 días preparto, 68 vacas Angus, multíparas fueron bloqueadas por PV y fecha probable de parto y asignadas aleatoriamente a un bajo nivel de proteína (BP, 6% PC) o alto nivel de proteína (AP, 12% PC) y fueron asignadas a 12 corrales por tratamiento. Desde el parto al destete, las vacas fueron manejadas juntas en pasturas mejoradas. Los terneros fueron pesados y se registraron las medidas corporales al nacer. Se tomaron muestras de sangre al nacer y cada 30 días hasta el destete a los 180 días de edad. El peso vivo al nacer en la progenie AP tendió a ser mayor que la progenie BP ( $P = 0,06$ ). Al nacer, los terneros de las madres BP tenían una mayor circunferencia cefálica ( $P < 0,01$ ), circunferencia torácica ( $P = 0,01$ ) y circunferencia del metatarso ( $P = 0,02$ ). Sin embargo, la relación circunferencia de la cabeza / PV al nacer ( $P = 0,04$ ), la relación circunferencia torácica / PV al nacer ( $P = 0,01$ ), la relación longitud corporal / PV al nacer ( $P = 0,05$ ) y la relación de altura / PV al nacer ( $P = 0,01$ ) fue mayor en terneros BP. El índice de masa corporal fue mayor en terneros AP ( $P = 0,04$ ). No se encontraron diferencias en el PV de los terneros al destete, ajustado a 205d y GDPV durante la lactancia ( $P > 0,10$ ).

Las concentraciones de glucosa fueron mayores en terneros BP que en terneros AP desde el nacimiento hasta el destete ( $81,0 \pm 1,5$  vs.  $76,4 \pm 1,2$  mg / dl;  $P < 0,001$ ) sin ningún cambio en las concentraciones de insulina durante el crecimiento previo al destete (BP =  $1,61 \pm 0,04$  ng / ml; AP =  $1,61 \pm 0,04$  ng / ml;  $P > 0,10$ ). La concentración de IGF-1 al nacer fue menor en terneros BP ( $P < 0,05$ ) y similar a los terneros AP durante el crecimiento postnatal ( $P > 0,10$ ). Estos datos demuestran que un bajo nivel de proteína durante la gestación tardía en las vacas puede afectar el crecimiento fetal con un aumento proporcional de la circunferencia de la cabeza y un bajo índice de masa corporal. El nivel de proteína comprometió la regulación de la glucosa en la vida temprana y afectó la concentración de IGF-I de los terneros recién nacidos.

**Palabras clave:** gestación, subnutrición, crecimiento postnatal, metabolismo de glucosa.

## ABSTRACT

The objective of this study was determine whether the amount of protein provided to cows during late gestation would affect postnatal growth and lead to changes on glucose, insulin and insulin-like growth factor concentrations. At 121 d 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

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Cuenca del Salado, Argentina.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Animales y Veterinarias, Universidad de Clemson, Carolina del Sur, Estados Unidos de América.

<sup>3</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Treinta y Tres, Uruguay.

level (HP, 12% CP) and were allotted in 12 pens per treatment. At calving, cows were managed together on improved pastures until weaning. Calves were weighed and body measurements were recorded at birth. Blood samples were taken at birth and each 30 d until weaning at 180 d of age. Body weight at birth on HP progeny tended to be greater than LP progeny ( $P=0.06$ ). At birth, calves from LP dams had greater head circumference ( $P < 0.01$ ), heart girth ( $P=0.01$ ) and cannon bone circumference ( $P=0.02$ ). However, head circumference /birth BW ratio ( $P=0.04$ ), heart girth /birth BW ratio ( $P=0.01$ ), body length /birth BW ratio ( $P=0.05$ ) and height /birth BW ratio ( $P=0.01$ ) was greater on LP calves. Body mass index was greater in HP calves ( $P=0.04$ ). No differences were found on BW of calves at weaning, adjusted 205 d BW and ADG during lactation ( $P > 0.10$ ). Glucose concentrations were greater on LP calves than HP calves from birth to weaning ( $81.0 \pm 1.5$  vs.  $76.4 \pm 1.2$  mg/dl;  $P < 0.001$ ) without any change in insulin concentrations during preweaning growth (LP=  $1.61 \pm 0.04$  ng/ml; HP=  $1.61 \pm 0.04$  ng/ml;  $P > 0.10$ ). Insulin-like growth factor concentrations were lower on LP calves at birth ( $P < 0.05$ ) and similar to HP calves during postnatal growth ( $P > 0.10$ ). These data demonstrate that low protein during late gestation in bovine dams may affect fetal growth with proportional increasing of head circumference and low body mass index. Level of protein compromised glucose regulation in early life and affected the IGF-I concentration of newborn calves.

**Keywords:** gestation, undernutrition, postnatal growth, glucose metabolism.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cría en Argentina se manejan principalmente bajo pastoreo en condiciones extensivas. La calidad de los forrajes a menudo es pobre, particularmente durante el invierno, lo que lleva a muchas vacas con parición de primavera a sufrir períodos de desnutrición que coinciden con la segunda mitad de la gestación. La restricción de nutrientes durante la segunda mitad de ges-

tación puede causar retraso del crecimiento intrauterino (RCIU) en fetos bovinos con efectos negativos en el crecimiento, el desarrollo reproductivo (Funston *et al.*, 2010, LeMaster *et al.*, 2016) y la calidad de la carcasa (Underwood *et al.*, 2010). La nutrición durante la gestación tardía puede afectar la condición corporal en el parto con consecuencias tanto en la producción de leche como en la calidad y el crecimiento del ternero durante la lactancia (LeMaster *et al.*, 2016). La suplementación proteica durante la gestación tardía se ha asociado con un mayor peso al destete cuando la dieta base de los forrajes contiene entre 5% y 8% de PC (Martin *et al.*, 2007; Stalker *et al.*, 2006; Funston *et al.*, 2010). Sin embargo, la producción y la calidad de la leche no se han evaluado y las consecuencias a largo plazo de la desnutrición fetal podrían confundirse con la producción y composición de leche materna durante el crecimiento posnatal hasta el destete.

La disponibilidad de nutrientes durante el desarrollo fetal puede alterar el metabolismo de la glucosa y la secreción de insulina durante el crecimiento postnatal. Ford *et al.* (2007) y Long *et al.* (2010) observaron niveles de glucosa alterados después de la prueba de tolerancia a la glucosa (TTG) en crías de ovejas y vacas que estaban desnutridas durante la gestación temprana a media. La restricción de nutrientes durante la gestación tardía en las ovejas resultó en corderos con una mayor concentración de glucosa e insulina después de TTG (Gardner *et al.*, 2005), pero las consecuencias en la progenie bovina apenas se han estudiado. Hay evidencia de que el crecimiento y desarrollo del páncreas es crítico durante la gestación tardía y los primeros meses de vida en fetos de ovejas (Fowden, 1980) y fetos de caballos (Fowden *et al.*, 2005) y puede ser sensible a niveles bajos de proteínas (Petrik *et al.*, 1999).

Las concentraciones de IGF-I son críticas para el desarrollo del feto y el peso al nacer (Brameld *et al.*, 2000). El crecimiento, la maduración y la función del páncreas son modulados por IGF en ratas (Hogg *et al.*, 1994). La IGF-I materna es particularmente

sensible a los niveles de proteína en la dieta de bovinos durante el segundo trimestre de gestación (Perry *et al.*, 2002).

El objetivo de este estudio fue comprender el impacto del nivel nutricional de proteína materna durante la gestación tardía, en el crecimiento de la descendencia asociado a los cambios en las concentraciones de glucosa, insulina e IGF-I.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El Comité institucional de Cuidado y Uso de Animales de INTA-CERBAS aprobó todos los procedimientos con animales utilizados en este estudio (Aprobación N°87).

### Manejo de vacas y terneros

Sesenta y ocho vacas Angus multíparas se sincronizaron utilizando un dispositivo intravaginal con progestágeno (Cronipres®, Biogénesis-Bagó, Argentina) durante 7 días, y al retirar el dispositivo se administraron 500 µg de cloprostenol (Ciclase DL®, Syntex, Argentina) y 1 mg de benzoato de estradiol (Benzoato de Estradiol Syntex®, Argentina) por vía intramuscular. A las 48 h se realizó inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) utilizando semen de un solo padre Angus. Quince días después de la IATF, se realizó servicio natural con un solo toro Angus durante un período de 15 días. A los 30 días después del final del período de servicio natural, se realizó diagnóstico de preñez por IA y servicio natural mediante ecografía transrectal. Las vacas fueron manejadas en pasturas de festuca durante la gestación temprana y media. Cuando las vacas tenían  $134 \pm 14$  días de gestación, fueron estratificadas por peso corporal en 24 corrales y asignadas a una dieta baja en proteínas (BP) o alta en proteínas (AP) para proveer 6% y 12% de PC respectivamente. Las vacas fueron alimentadas para cumplir con el 100% de los requerimientos de EM en ambos tratamientos y proporcionar el 64% y el 121% de los requerimientos de PC para los tratamientos de BP y AP respectivamente (NRC, 2000). La dieta BP consistió en 98,5% de ensilaje de

maíz y 1,5% de premezcla mineral y la dieta AP consistió en 87,5% de ensilaje de maíz, 10% de harina de girasol granulada, 1% de urea y 1,5% de premezcla mineral. Después del parto, los terneros y sus madres se manejaron como un grupo en verdeos de avena y pasturas mixtas hasta el destete a los 180 días de edad de los terneros. El peso y el estado corporal de las vacas se registraron al momento del parto (menos de 12 h después del parto) y al destete. Los terneros fueron castrados a los 5 meses de edad. El peso corporal de los terneros se registró al nacer y cada 30 días hasta el destete. La producción de leche se evaluó con una máquina de ordeño portátil equipada con un medidor de leche en línea (TrueTest, Auckland, Nueva Zelanda) en los días 20, 34, 47, 75, 103, 135, 165 y 221 de lactancia. Las vacas fueron ordeñadas según el protocolo de Quintans *et al.* (2010). Por más detalles metodológicos ver página 24 de esta Serie Técnica.

### Morfometría del ternero al nacer

Antes de las 12 h posparto se registró sexo del ternero, peso al nacer y las siguientes mediciones morfométricas: circunferencia de la cabeza (alrededor del hueso parietal y la mandíbula justo posterior a las órbitas de los ojos), circunferencia torácica (posterior a la pata delantera), circunferencia del metacarpo (punto más angosto del metacarpo), longitud del cuerpo (distancia lineal a lo largo de la columna vertebral desde el hueso occipital hasta la primera vértebra coccígea) y altura (distancia lineal desde el trocánter mayor del fémur hasta el piso). Se calculó la relación entre morfometría y peso corporal al nacer para determinar si el crecimiento fetal se ve afectado de manera asimétrica. El índice de masa corporal de los terneros recién nacidos se calculó dividiendo el peso al nacer de cada ternero por la raíz cuadrada de la longitud corporal.

### Recolección de sangre y análisis

Las concentraciones de glucosa, insulina e IGF-I se determinaron en terneros al nacer y mensualmente hasta los 180 días de

edad. Los terneros se separaron de sus madres durante 16 h sin alimento ni agua antes de obtener muestras de sangre (6 ml) de la vena yugular, que se colocaron en hielo durante 3 h y se centrifugaron a 2500 x g durante 15 min para extraer el suero y luego almacenar a -20 ° C hasta su posterior análisis. La concentración de glucosa se determinó en sangre completa con un glucómetro electrónico de mano (Abbott®, Reino Unido) inmediatamente después de tomar la muestra de sangre (Wittrock *et al.*, 2013).

La concentración sérica de insulina se midió mediante RIA con el uso del anticuerpo de insulina anti-bovina (Sigma, St. Louis, Missouri, EE. UU.) e insulina humana estándar proporcionada por Laboratorios Beta (Buenos Aires, Argentina); la concentración mínima detectable fue de 0,05 ng / ml. Los coeficientes de variación intra e inter análisis fueron inferiores al 8% y al 11%, respectivamente. La concentración sérica de IGF-1 se cuantificó mediante RIA después de la extracción con etanol como se describe en Lacau Mengido *et al.* (2000). Se usó el anticuerpo IGF-1 (UB2-495) del NIDDK. El coeficiente de variación intra-análisis fue del 8% y la concentración mínima detectable fue de 2,5 ng / ml.

### **Análisis estadístico**

Las vacas fueron bloqueadas de acuerdo a peso corporal y fecha de parto prevista y los corrales se consideraron la unidad experimental. Los datos de la descendencia, incluyendo peso corporal y morfometría, se analizaron utilizando el procedimiento MIXED de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). El modelo

incluyó los efectos fijos del tratamiento dietético materno, los bloques, el sexo y todas las posibles interacciones. El corral fue el efecto aleatorio anidado en el bloque por la interacción con el tratamiento. La concentración de glucosa en sangre total, insulina sérica e IGF-1 en suero se analizaron como medidas repetidas utilizando el procedimiento MIXED de SAS con tratamientos, edad y su interacción en el modelo. En todos los casos, los corrales se consideraron como unidad experimental y los datos se presentan como medias de mínimos cuadrados y promedios de MSE, y las diferencias se consideraron significativas a  $P \leq 0,05$ , con una tendencia a  $P \leq 0,10$ .

## **RESULTADOS**

Los datos sobre el desempeño de las vacas en respuesta a diferentes niveles de proteína durante la gestación tardía se han informado previamente (López Valiente *et al.*, 2018). Se observó una tendencia a aumentar el peso corporal al nacer para AP en comparación con los terneros BP ( $P = 0,06$ ; Cuadro 1). El tratamiento nutricional no influyó en el peso vivo (PV) de los terneros al destete ( $P = 0,79$ ) y tampoco en el peso ajustado a los 205 días ( $P = 0,45$ ). Los terneros machos fueron más pesados a los 45 días de vida ( $P < 0,01$ ), sin embargo, el PV al destete ( $P = 0,17$ ) y el peso ajustado a los 205 días ( $P = 0,11$ ) fueron similares a las hembras. El aumento diario de peso vivo (ADPV) desde el nacimiento hasta el destete no estuvo influenciado por los tratamientos ( $P = 0,66$ ), el sexo ( $P = 0,14$ ) o el tratamiento x sexo ( $P = 0,42$ ). Hubo una interacción tratamiento x sexo ( $P = 0,02$ ) en ADPV desde el nacimiento hasta los 45 días.

**Cuadro 1.** Efecto del nivel de proteína durante la gestación tardía sobre el peso y ganancia de peso de los terneros<sup>1</sup>.

Ítem	Tratamientos				MSE <sup>3</sup>	P-valor		
	BP		AP			Trt <sup>2</sup>	Sexo	Trt × sexo
	Machos	Hembras	Machos	Hembras				
<b>PV, kg</b>								
Nacimiento	27,8	25,4	29,3	27,9	1,1	0,06	0,08	0,64
Ajust. 45 d	76,5	65,8	76,3	73,3	2,4	0,13	<0,01	0,12
Destete	227	212	223	220	8	0,79	0,17	0,36
Ajust. 205 d	219	202	218	213	8	0,45	0,11	0,39
<b>GDPV, kg/d</b>								
Nacer a 45 d	1,08	0,90	1,00	1,03	0,04	0,55	0,07	0,02
45 d a destete	0,89	0,86	0,87	0,88	0,03	0,98	0,74	0,39
Nacer a destete	0,93	0,86	0,92	0,90	0,03	0,66	0,14	0,42

<sup>1</sup>Las vacas fueron alimentadas con bajo nivel de proteína (BP= 6% PC) o alto nivel de proteína (AP= 12% PC); <sup>2</sup>Trt=Tratamiento; <sup>3</sup>MSE promedio

Los terneros nacidos de vacas AP tuvieron un aumento de la circunferencia de la cabeza ( $P < 0,01$ ; Cuadro 2), circunferencia torácica ( $P = 0,01$ ) y circunferencia del metatarso ( $P = 0,02$ ) en comparación con los terneros nacidos de vacas BP. La longitud corporal ( $P = 0,49$ ) y la altura ( $P = 0,74$ ) no fueron diferentes entre los tratamientos. Los terneros machos tuvieron una mayor circunferencia torácica ( $P = 0,02$ ), circunferencia del metatarso ( $P = 0,01$ ) y una tendencia a mayor longitud del cuerpo ( $P = 0,07$ ) que las terneras. La circunferencia de la cabeza ( $P = 0,20$ ) y la altura ( $P = 0,28$ ) no fueron diferentes entre los sexos. No hubo interacción tratamiento x sexo para ninguna variable.

El nivel de nutrición proteica de las vacas afectó el crecimiento fetal de forma asimétrica. Los terneros recién nacidos BP tuvieron una mayor relación circunferencia de la cabeza / peso al nacer ( $P = 0,04$ ; Cuadro 3), relación circunferencia torácica / peso al nacer ( $P = 0,01$ ), relación de altura / peso al nacer ( $P = 0,01$ ) y relación longitud corporal / peso al nacer ( $P = 0,05$ ). La relación circunferencia del metatarso / peso al nacer ( $P = 0,28$ ) no fue diferente entre los tratamientos. No hubo efecto sexo en ninguna de estas variables ( $P > 0,10$ ). El índice de masa corporal fue inferior en terneros BP ( $P = 0,04$ ) y en terneras ( $P = 0,01$ ). No hubo interacción tratamiento x sexo para ninguna de estas variables ( $P > 0,10$ ).

**Cuadro 2.** Efecto del nivel de proteína durante la gestación tardía sobre la morfometría de los terneros al nacer<sup>1</sup>.

Ítem	Tratamientos				MSE <sup>3</sup>	P-valor		
	BP		AP			Trt <sup>2</sup>	Sex	Trt x sex
	Macho	Hembra	Macho	Hembra				
Circ. cefálica, cm	45,6	44,2	46,6	46,5	0,6	<0,01	0,20	0,28
Circ. torácica, cm	72,5	68,6	73,7	72,6	1,0	0,01	0,02	0,17
Circ. metatarso, cm	10,9	10,6	11,5	10,8	0,2	0,02	0,01	0,24
Largo, cm	75,9	71,7	75,1	74,3	1,4	0,49	0,07	0,21
Alto, cm	61,0	58,9	60,3	60,3	0,9	0,74	0,29	0,30

<sup>1</sup>Las vacas fueron alimentadas con bajo nivel de proteína (BP= 6% PC) o alto nivel de proteína (AP= 12% PC); <sup>2</sup>Trt=Tratamiento; <sup>3</sup>MSE promedio

**Cuadro 3.** Efecto del nivel de proteína durante la gestación tardía sobre la relación morfometría/peso al nacer<sup>1</sup>.

Ítem	Tratamientos				MSE <sup>3</sup>	P-valor		
	BP		AP			Trt <sup>2</sup>	Sexo	Trt x sexo
	Macho	Hembra	Macho	Hembra				
Circ. cefálica/ PV, cm/kg	1,67	1,78	1,59	1,63	0,06	0,04	0,17	0,57
Circ. Torácica. / PV, cm/kg	2,65	2,68	2,51	2,38	0,08	0,01	0,52	0,34
Circ. metatarso/ PV, cm/kg	0,41	0,41	0,40	0,39	0,01	0,28	0,95	0,68
Largo / PV, cm/kg	2,80	2,77	2,53	2,70	0,11	0,05	0,52	0,37
Alto / PV, cm/kg	2,24	2,31	2,09	2,14	0,06	0,01	0,35	0,85
Índice de masa corporal, kg/m <sup>2</sup>	3,19	2,93	3,45	3,14	0,1	0,04	0,01	0,77

<sup>1</sup>Las vacas fueron alimentadas con bajo nivel de proteína (BP= 6% PC) o alto nivel de proteína (AP= 12% PC); <sup>2</sup>Trt=Tratamiento; <sup>3</sup>MSE promedio

Las concentraciones de glucosa en sangre total desde el nacimiento hasta el destete fueron mayores para los terneros BP en comparación con los terneros AP ( $81,0 \pm 1,5$  vs.  $76,4 \pm 1,2$  mg / dl; Figura 1a). Los terneros nacidos de vacas BP tuvieron la concentración de glucosa aumentada durante los primeros 60 días de vida, pero la concentración volvió a niveles similares de los terneros AP desde los 60 días hasta el destete. Hubo un efecto significativo de la edad sobre las concentraciones de glucosa ( $P < 0,001$ ). Las concentraciones séricas de insulina desde el nacimiento hasta el destete no se vieron afectadas ( $P = 0,96$ ) por el tratamiento nutri-

cional (BP =  $1,61 \pm 0,04$  ng / ml; AP =  $1,61 \pm 0,04$  ng / ml; Figura 1b).

La concentración sérica de IGF-I al nacer fue mayor en AP en comparación con los terneros BP ( $P < 0,05$ ) pero no hubo efecto ( $P > 0,10$ ) de las dietas maternas después del nacimiento hasta el destete (BP =  $361 \pm 12$  ng / ml; AP =  $358 \pm 13$  ng / ml; Figura 1c). La concentración sérica de IGF-I cambió con la edad de los terneros. Las concentraciones séricas de IGF-I fueron más bajas al nacer y aumentaron hasta el día 90 en ambos grupos ( $P < 0,01$ ), luego hubo una disminución en las concentraciones hasta los 180 d de edad.

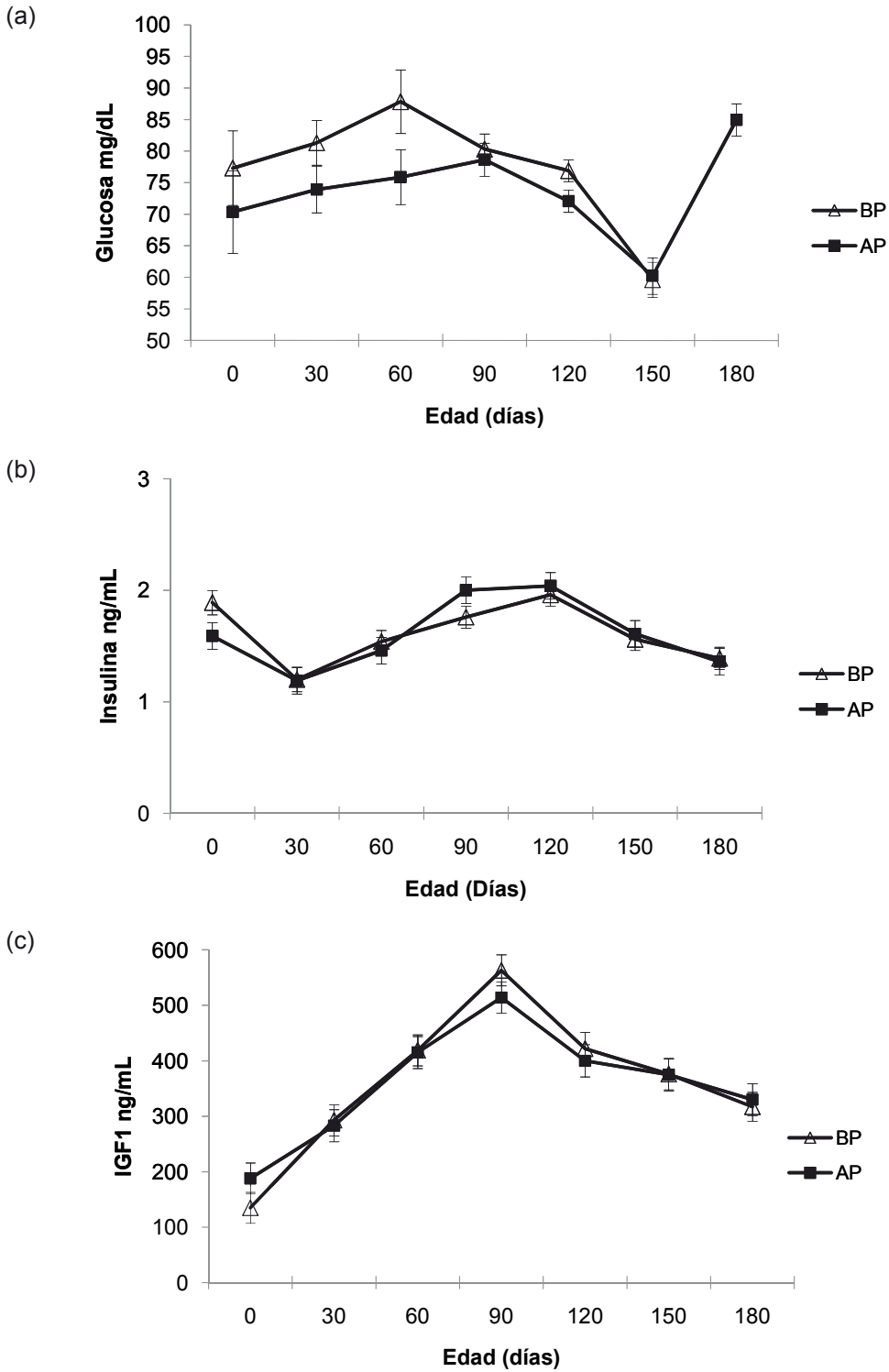


Figura 1. Efecto del nivel de proteína bajo o alto durante la gestación tardía sobre: la concentración de glucosa (a), insulina (b) e IGF-1 (c) en la descendencia.

## DISCUSIÓN

Se ha demostrado que la restricción del consumo de energía durante la gestación tardía disminuye el peso al nacer, tanto en vacas (Wiltbank *et al.*, 1962; Corah *et al.*, 1975; Houghton *et al.*, 1990; Freetly *et al.*, 2000) como en vaquillonas (Corah *et al.*, 1975; Bellows and Short 1978; Warrington *et al.*, 1988; Spitzer *et al.*, 1995). Por el contrario, cuando las madres fueron alimentadas con una dieta deficiente en proteínas con una ingesta adecuada de energía durante la segunda mitad de la gestación, el peso al nacer no se vio afectado. Estos resultados son consistentes para vacas (Stalker *et al.*, 2006; Larson *et al.*, 2009) y vaquillonas (Cartens *et al.*, 1987; Martin *et al.*, 2007). En nuestro estudio, observamos solo una tendencia a disminuir el peso al nacer en terneros BP. La restricción nutricional parece ser más severa cuando la ingesta de energía es limitada (LeMaster *et al.*, 2016). En términos generales, las vacas alimentadas con forraje bajo en proteínas durante la gestación tardía no han tenido una disminución drástica del peso y el estado corporal ha estado cerca de cinco o más (Cartens *et al.*, 1987; Larson *et al.*, 2009).

El retraso del crecimiento intrauterino puede dar lugar a la aparición de varios cambios morfológicos sin ningún cambio en el peso al nacer (Barker *et al.*, 1998). La circunferencia torácica fue mayor en fetos de ovejas con restricción de nutrientes en el día 45 de gestación (Osgerby *et al.*, 2002). En nuestro estudio, solo se observó una tendencia a un mayor peso corporal al nacer en los terneros AP, sin embargo, los terneros BP tuvieron aumentos significativos en la circunferencia de la cabeza, circunferencia torácica y una tendencia a un aumento en la circunferencia del metatarso. Por lo tanto, sobre la base de la dimensión corporal, los terneros nacidos de madres BP eran más pequeños que los nacidos de madres AP. Estos datos confirman investigaciones previas de Long *et al.* (2009) que indican que el peso fetal puede ser poco confiable como indicador de RCIU, incluso si ocurre durante la gestación tardía.

El crecimiento desproporcionado de órganos es indicativo de retraso del crecimiento intrauterino (McMillen *et al.*, 2001; Platz y Newman, 2008). La restricción nutricional durante la gestación temprana seguida de una realimentación generó fetos más pequeños con un aumento del peso cerebral y cardíaco en relación al peso corporal fetal (Long *et al.*, 2009). Nuestro estudio demuestra que el crecimiento fetal puede verse afectado de manera desproporcionada por el nivel de nutrición proteica de las madres al final de la gestación. En condiciones de retraso del crecimiento intrauterino, un fenómeno conocido como preservación del cerebro ocurre cuando el desarrollo del cerebro fetal se prioriza sobre otros órganos como el músculo esquelético, el hígado, los riñones o las vísceras (Barker, 1998). Una mayor relación entre circunferencia de la cabeza y peso al nacer en los terneros BP en comparación con los terneros AP sugiere que se ha producido un efecto de preservación del crecimiento del cerebro. El índice de masa corporal reducido observado en terneros BP también apoya la noción de que han experimentado un retraso del crecimiento en el útero.

La disponibilidad prenatal de nutrientes puede influir en la capacidad de los terneros para regular la concentración de glucosa en sangre durante el crecimiento postnatal. Gardner *et al.* (2005) informaron que ovejas restringidas durante la gestación tardía, resultaron en corderos con una mayor concentración de glucosa e insulina en plasma después de un test de tolerancia a la glucosa (TTG) y no se encontraron cambios importantes en la homeostasis de glucosa-insulina en las crías de ovejas restringidas durante la gestación temprana. Sin embargo, Ford *et al.* (2007) y Long *et al.* (2010) informan una homeostasis de glucosa alterada después de un TTG en crías de ovejas y vacas desnutridas durante la gestación temprana a media.

Inmediatamente después del nacimiento, la función endócrina del páncreas debe controlar la glicemia de la transición del neonato desde la nutrición parenteral a la enteral. Por lo tanto, el desarrollo del páncreas fetal y neo-



natal es crítico para controlar la homeostasis de la glucosa durante los primeros meses de vida. Los estudios en fetos ovinos (Fowden, 1980) y fetos equinos (Fowden *et al.*, 2005) demostraron que la sensibilidad de las células  $\beta$  pancreáticas a la glucosa y la arginina exógena aumentó durante la gestación tardía. Trabajos recientes han demostrado que el páncreas fetal bovino es sensible a la restricción de nutrientes maternos durante la primera o segunda mitad de la gestación (Washburn *et al.*, 2016; Keomanivong *et al.*, 2017). En nuestro trabajo, los terneros nacidos de madres BP fueron hiperglucémicos durante los primeros 60 días de vida, pero las concentraciones de glucosa volvieron a niveles similares a los terneros AP desde los 60 días hasta el destete. La alta concentración de glucosa en BP podría estar relacionada con resistencia a la insulina y no con la deficiencia de insulina, dado que se observaron niveles similares de insulina entre los tratamientos. Un retardo del crecimiento intrauterino inducido experimentalmente en ratas resultó en alteraciones del páncreas endócrino, reducido peso pancreático y masa de células  $\beta$  al nacer y disminución de la secreción de insulina en la vida adulta. Los estudios mostraron que la descendencia de ratas alimentadas con una dieta isocalórica pero baja en proteínas (8% PC) indujo no solo el retraso del crecimiento, sino que también alteró el equilibrio entre la proliferación de células  $\beta$  y la muerte de células  $\beta$ . La hiperglucemia observada en los primeros 60 días de terneros BP podría reflejar un retardo en el desarrollo del páncreas causado por la desnutrición materna durante la gestación tardía. Sin embargo, una concentración de glucosa similar entre tratamientos después de 60 días podría estar indicando que el páncreas puede haber sido sometido a un desarrollo compensatorio.

Los efectos de la restricción nutricional en el desarrollo fetal pueden estar mediados por la alteración del eje IGF (Bauer *et al.*, 1995). La IGF-I e IGF-II son péptidos mitogénicos que tienen un papel fundamental en la regulación del crecimiento fetal debido a su capacidad para estimular la proliferación y

diferenciación de múltiples tipos de células (Brameld *et al.*, 1998). La reducción de la ingesta de energía al 25% de los requerimientos en ovejas preñadas entre 110 días y 124 días de gestación aumentó la concentración de GH en plasma y disminuyó la concentración de IGF-I en plasma tanto en las madres como en sus fetos (Bauer *et al.*, 1995). Los estudios han demostrado que la concentración de IGF-I en suero fetal se correlaciona positivamente con el peso fetal, la tasa de crecimiento, la altura de la grupa y la altura de la cadera en bovinos (Holland *et al.*, 1997) y el peso al nacer en ovinos (Owens *et al.*, 1994). Durante la gestación tardía y el crecimiento posnatal, IGF-I modula positivamente la tasa de síntesis de proteínas e inhibe las tasas de degradación de proteínas que contribuyen a la hipertrofia de miofibras (Oksbjerg *et al.*, 2004). En nuestro experimento, el aumento de la concentración de IGF-1 en terneros AP puede estar asociado con un mayor índice de masa corporal al nacer.

Hay pruebas en ratas que indican que IGF contribuye al crecimiento, la maduración y el crecimiento de las células  $\beta$  del páncreas (Hogg *et al.*, 1993). Las crías de ratas que recibieron una dieta baja en proteínas durante la gestación tuvieron una masa de células  $\beta$  pancreáticas reducida y un contenido de insulina pancreática reducida asociado a una expresión pancreática reducida de IGF-II en comparación con animales bien alimentados (Petrik *et al.*, 1999). Por lo tanto, es posible que en este estudio la alteración de la nutrición prenatal durante la gestación tardía haya afectado la ontogenia de las células  $\beta$  y haya comprometido la funcionalidad del páncreas y contribuido a la desregulación de la glucosa durante la vida temprana.

En conclusión, nuestro experimento demuestra que un bajo nivel de proteína durante la gestación tardía en las vacas puede afectar el crecimiento fetal. El peso corporal al nacer se vio ligeramente afectado, mientras que varios cambios en la morfometría al nacer en terneros BP sugieren que el peso corporal puede no ser la mejor medida para detectar si el crecimiento fetal se ve afectado en las

madres bovinas debido a la restricción tardía de nutrientes durante la gestación. La relación entre las medidas corporales y el peso al nacer puede detectar el crecimiento fetal desproporcionado. El aumento proporcional de la circunferencia de la cabeza y el bajo índice de masa corporal en terneros BP demuestran que la restricción proteica de las madres genera retardo en el crecimiento fetal. El nivel de proteínas en la dieta afectó la concentración de IGF-I de terneros recién nacidos. Por lo tanto, es posible que la desnutrición prenatal bovina conduzca a un desarrollo inadecuado del páncreas asociado con una disminución de la concentración de IGF-I y resulte en una regulación comprometida de la glucosa en la vida temprana.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el Programa Nacional de Producción Animal (PNPA 1126023) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.

## BIBLIOGRAFÍA

**Barker, D.J.P.** 1998. *In utero* programming of chronic disease. *Clinical Science*, 95(2): 115–128.

**Bauer, M.K.; Breier, B.H.; Harding, J.E.; Veldhuis, J.D.; Gluckman, P.D.** 1995. The fetal somatotrophic axis during long term maternal undernutrition in sheep: evidence for nutritional regulation in utero. *Endocrinology*, 136(3): 1250–1257.  
<https://doi.org/10.1210/en.136.3.1250>

**Bellows, R.A., Short, R.E.** 1978. Effects of precalving feed level on birth weight, calving difficulty and subsequent fertility. *Journal of Animal Science*, 46(6): 1522–1528.  
<https://doi.org/10.2527/jas1978.4661522x>

**Brameld, J.M.; Buttery, P.J.; Dawson, J.M.; Harper, J.M.M.** 1998. Nutritional and hormonal control of skeletal muscle cell growth and differentiation. *Proceedings of the Nutrition Society*, 57(2): 207–217.

**Brameld, J.M.; Mostyn, A.; Dandrea, J.; Stephenson, T.J.; Dawson, J.; Buttery, P.J.; Symonds, M.E.,** 2000. Maternal nutrition alters the expression of insulin-like growth factors in fetal sheep liver and skeletal muscle. *Journal of Endocrinology*, 167(3): 429–438.

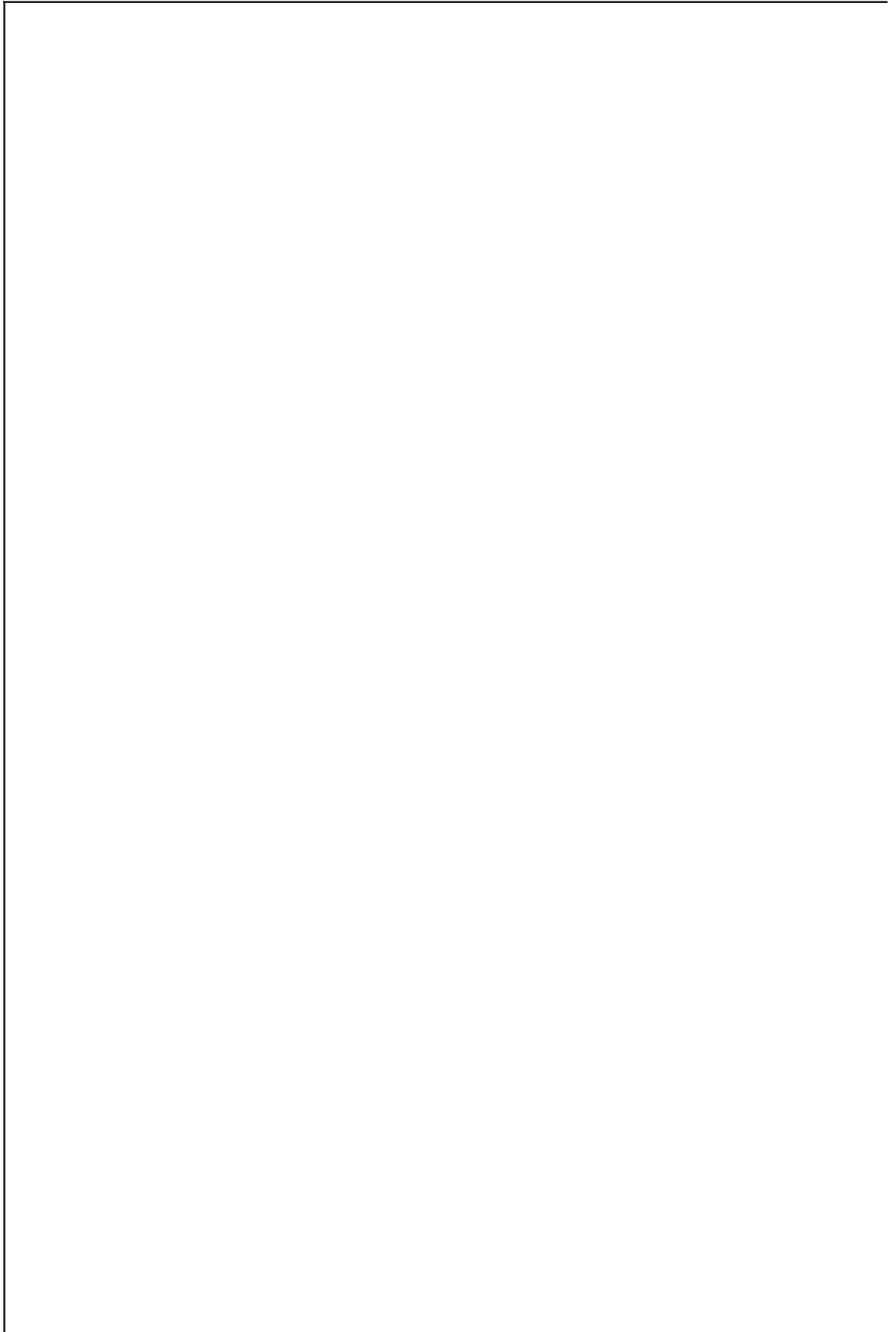
**Carstens, G.E.; Johnson, D.E.; Holland, M.D.; Odde, K.G.** 1987. Effects of prepartum protein nutrition and birth weight on basal metabolism in bovine neonates. *Journal of Animal Science*, 65(3): 745–751.  
<https://doi.org/10.2527/jas1987.653745x>

**Corah, L.R.; Dunn, T.G.; Kaltenbach, C.C.** 1975. Influence of prepartum nutrition on the reproductive performance of beef females and the performance of their progeny. *Journal of Animal Science*, 41(3): 819–824.  
<https://doi.org/10.2527/jas1975.413819x>

- Ford, S.P.; Hess, B.W.; Schwope, M.M.; Niljand, M.J.; Gilbert, J.S.; Vonnahme, K.A.; Means, W.J.; 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.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2005-624>
- Fowden, A.L.** 1980. Effects of arginine and glucose on the release of insulin in the sheep fetus. *Journal of Endocrinology*, 85(1): 121–129.
- Fowden, A.L.; Gardner, D.S.; Ousey, J.C.; Giussani, D.A.; Forhead, A.J.** 2005. Maturation of pancreatic  $\beta$ -cell function in the fetal horse during late gestation. *Journal of Endocrinology*, 186: 467–473.
- Freetly, H.C., Ferrell, C.L., Jenkins, T.G.** 2000. Timing of realimentation of mature cows that were feed-restricted during pregnancy influences birth weights and growth rates. *Journal of Animal Science*, 78(11): 2790–2796.  
<https://doi.org/10.2527/2000.78112790x>
- Funston, R.N.; Martin, J.L.; Adams, D.C.; Larson, D.M.** 2010. Winter grazing systems and supplementation of beef cows during late gestation influences heifer progeny. *Journal of Animal Science*, 88(12): 4094–4101.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2010-3039>
- Gardner, D.S., Tingey, K., Van Bon, B.W., 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(4): R947-R954.  
<https://doi.org/10.1152/ajpregu.00120.2005>
- Hogg, J.; Han, V.K.M.; Clemmons, D.R.; Hill, D.J.** 1993. Interactions of glucose, insulin-like growth factors (IGFs) and IGF binding proteins in the regulation of DNA synthesis by isolated fetal rat islets of Langerhans. *Journal of Endocrinology*, 138(3): 401–412.
- Hogg, J.; Hill, D.J.; Han, V.K.M.** 1994. The ontogeny of insulin-like growth factor (IGF) and IGF binding protein gene expression in the rat pancreas. *Journal of Molecular Endocrinology*, 13: 49–58.
- Holland, M.D.; Hossner, K.L.; Williams, S.E.; Wallace, C.R.; Niswender, G.D.; Odde, K.G.** 1997. Serum concentrations of insulin-like growth factors and placental lactogen during gestation in cattle I. Fetal profiles. *Domestic animal endocrinology*, 14(4): 231–239.  
[https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(97\)00023-4](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(97)00023-4)
- Houghton, P.L.; Lemenager, R.P.; Horstman, L.A.; Hendrift, K.S.; Moss, G.E.** 1990. Effects of body condition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. *Journal of Animal Science*, 68(5): 1438–1446.  
<https://doi.org/10.2527/1990.6851438x>
- Keomanivong, F. E.; Camacho, L. E.; Lemley, C. O.; Kiemper, E. A.; Yunusova, R. D.; Borowicz, P. P.; Kirsch, J. D.; Vonnahme, K. A.; Caton, J. S.; Swanson K. C.** 2017. Effects of realimentation after nutrient restriction during mid- to late-gestation on pancreatic digestive enzymes, serum insulin and glucose levels, and insulin-containing cell cluster morphology. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(3): 589-604. <https://doi.org/10.1111/jpn.12480>
- Lacau-Mengido, M.I.; Mejía, M.E.; Díaz-Torga, G.S; Gonzalez Iglesias, A.; Formía, N.; Libertun, C.; Becú-Villalobos, D.** 2000. Endocrine studies in ivermectin-treated heifers from birth to puberty. *Journal of Animal Science*, 78(4): 817–824.  
<https://doi.org/10.2527/2000.784817x>
- Larson, D.M.; Martin, J.L.; Adams, D.C.; Funston, R.M.** 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.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2008-1323>

- LeMaster, C.L.; Taylor, R.K.; Ricks, R.E.; Long N.M.** 2016. The effects of late gestation maternal nutrient restriction with or without protein supplementation on endocrine regulation of newborn and postnatal beef calves. *Theriogenology*, 87: 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.08.004>
- Long, N.M.; Prado-Cooper, M.J.; Krehbiel, C.R.; Wettemann, R.P.** 2010. Effects of nutrient restriction of bovine dams during early gestation on postnatal growth and regulation of plasma glucose. *Journal of Animal Science*, 88(10): 3262–3268. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3214>
- Long, N.M.; Vonnahme, K.A.; Hess, B.W.; Nathanielsz, P.W.; Ford, S.P.** 2009. Effects of early gestational undernutrition on fetal growth, organ development, and placental composition in the bovine. *Journal of Animal Science*, 87(6): 1950–1959. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1672>
- López Valiente, S.; Maresca, S.; Rodríguez, A.M.; Palladino, R.A.; Lacau-Mengido, I.M.; 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. <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01701>
- McMillen, I.C.; Adams, M.B.; Ross, J.T.; Coulter, C.L.; Simonetta, G.; Owens, J.A.; Robinson, J.S.; Edwards, L.J.** 2001. Fetal growth restriction: Adaptations and consequences. *Reproduction*, 122: 195–204.
- Martin, J.L.; Vonnahme, K.A.; Adams, D.C.; Lardy, G.P.; Funston R.N.** 2007. Effect of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *Journal of Animal Science*, 85(3): 841–847. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-337>
- NRC.** 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7 th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Oksbjerg, N., Gondretb, F., Vestergaarda M.** 2004. Basic principles of muscle development and growth in meat-producing mammals as affected by the insulin-like growth factor (IGF) system. *Domestic animal endocrinology*, 27(3): 219–240. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2004.06.007>
- Osgerby, J.C.; Wathes, D.C.; Howard, D.; Gadd, T.S.** 2002. The effect of maternal undernutrition on ovine fetal growth. *Journal of Endocrinology*, 173: 131–141.
- Owens, J.A.; Kind, K.L.; Carbone, F.; Robinson, J.S.; Owens, P.C.** 1994. Circulating insulin-like growth factor-I and factor-II and substrates in fetal sheep following restriction of placental growth. *Journal of Endocrinology*, 140: 5–13.
- Perry, V.E.A.; Norman, S.T.; Daniel, R.C.W.; Owens, P.C.; Grant, P.; Doogan, V.J.** 2002. Insulin-like growth factor levels during pregnancy in the cow are affected by protein supplementation in the maternal diet. *Animal Reproduction Science*, 72(1-2): 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(02\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(02)00069-6)
- Petrik, J.; Reusens, B.; Avany, E.; Remacle, C.; Coelho, C.; Hoet, J.J.; Hill, D.J.** 1999. A low protein diet *al*.ters the balance of islet cell replication and apoptosis in the fetal and neonatal rat and is associated with a reduced pancreatic expression of insulin-like growth factor-II. *Endocrinology*, 140(10): 4861–73. <https://doi.org/10.1210/endo.140.10.7042>
- Platz, E.; Newman, R.** 2008. Diagnosis of IUGR: Traditional biometry. *Seminars in Perinatology*, 32(3): 140–147. <https://doi.org/10.1053/j.semperi.2008.02.002>

- Quintans, G.; Banchemo, G.; Carriquiry, M.; López-Mazz, C.; Baldi, F.** 2010. Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Animal Production Science*, 50(10): 931–938. <https://doi.org/10.1071/AN10021>
- Spitzer, J.C.; Morrison, D.G.; Wettemann, R.P.; Faulkner, L.C.** 1995. Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows. *Journal of Animal Science*, 73(5): 1251–1257. <https://doi.org/10.2527/1995.7351251x>
- 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. <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. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.008>
- Warrington, B.G.; Byers, F.M.; Schelling, G.T.; Forrest, D.W.; Baker, J.F.; Greene, L.W.** 1988. Gestation nutrition, tissue exchange and maintenance requirements of heifers. *Journal of Animal Science*, 66(3): 774–782. <https://doi.org/10.2527/jas1988.663774x>
- Washburn, J.L.; Taylor, R.K.; Long, N.M.** 2016. The effects of early or mid-gestation nutrient restriction on bovine fetal pancreatic development. *Journal of Animal Science*, 94 (sup. 1): 67.
- Wittrock, J.A.M.; Duffield, T.F.; LeBlanc, S.J.** 2013. Short communication: Validation of a point-of-care glucometer for use in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(7): 4514–4518. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6533>
- Wiltbank, J.N.; Rowden, W.W.; Ingalls, J.E.; Gregory, K.E.; Koch, R.M.** 1962. Effect of energy level on reproductive phenomena of mature Hereford cows. *Journal of Animal Science*, 21(2): 219–225. <https://doi.org/10.2527/jas1962.212219x>



# EFECTO DE LA RESTRICCIÓN PROTEICA EN VACAS MULTÍPARAS DURANTE LA GESTACIÓN MEDIA Y TARDÍA EN EL CRECIMIENTO Y FERTILIDAD DE LA PROGENIE FEMENINA.

S. López Valiente<sup>1</sup>, S. Maresca<sup>1</sup>, A.M. Rodríguez<sup>1</sup>, N.M. Long<sup>2</sup>, G. Quintans<sup>3</sup>, R.A. Palladino<sup>4</sup>

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar los efectos de dos niveles de proteína cruda (PC) suministrados durante la gestación tardía sobre el crecimiento postdestete de las vaquillonas y su desempeño reproductivo. A los 121 días preparto, 68 vacas Angus multíparas, fueron estratificadas por peso vivo y fecha probable de parto, y asignadas aleatoriamente a dos tratamientos: dieta baja en proteínas (LP, 6% CP) o alta en proteínas (HP, 12% CP); en 12 corrales por grupo de tratamiento. Luego del parto todas las vacas se manejaron como un solo grupo hasta el destete. Después del destete, se separaron las terneras hembras y fueron manejadas en pasturas como un solo grupo. Las vaquillonas HP fueron más pesadas a la pubertad ( $P = 0,01$ ) y en la determinación de la preñez ( $P = 0,05$ ) que las LP. El área del músculo *Longissimus* fue mayor a los 20 meses de edad en HP en comparación con las vaquillonas LP ( $P = 0,01$ ). La concentración sérica de IGF-1 fue mayor en las vaquillonas HP que en LP ( $P = 0,05$ ). No se encontró efecto de la nutrición materna sobre edad a la pubertad de la descendencia ( $P = 0,98$ ), ni en porcentaje de preñez final ( $P = 0,28$ ). La suplementación proteica durante la gestación tardía no tuvo efecto en el desempeño reproductivo de la descendencia pero sí tuvo impacto sobre la ganancia de peso vivo. El suministro de dietas con baja cantidad de proteína durante el crecimiento fetal puede afectar el desarrollo posterior de la descendencia femenina.

**Palabras clave:** programación fetal, pubertad, crecimiento

## ABSTRACT

The objective of the present work was to investigate the effects of two levels of crude protein (CP) provided to mature dams during late gestation on subsequent heifer's growth postweaning and reproductive performance. At 121 d prepartum, 68 multiparous Angus cows were blocked by BW and expected calving date and randomly assigned to low protein (LP, 6% CP) or high protein (HP, 12% CP) at 12 pens per treatment. Following calving, all cow/calf pairs were housed together until weaning, then female progeny were removed and maintained on pasture as a single group. At puberty ( $P = 0.01$ ) and pregnancy determination ( $P = 0.05$ ) the HP heifers were heavier than LP heifers. The LM area was greater at 20 mo of age in HP compared to LP heifers ( $P = 0.01$ ). Serum IGF-1 concentration was greater in HP heifers compared to LP heifers ( $P = 0.05$ ). No dam nutrition effects were found on offspring age at puberty ( $P = 0.98$ ), final pregnancy rate ( $P = 0.28$ ). Protein supplementation during late gestation does not affect reproductive performance of the offspring heifers but did impact their BW evolution. The use of diet with low amount of protein which the female fetus is exposed *in utero* can affect her subsequent development.

**Keywords:** fetal programming, puberty, growth.

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Cuenca del Salado, Argentina.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Animales y Veterinarias, Universidad de Clemson, Carolina del Sur, Estados Unidos de América.

<sup>3</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Treinta y Tres, Uruguay.

<sup>4</sup> IIPAS-CONICET, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

Los rodeos de cría en Argentina se manejan bajo condiciones de pastoreo extensivo. En invierno, la calidad de los forrajes es baja y, por lo tanto, las vacas experimentan períodos de desnutrición que coinciden con la segunda mitad de la gestación. La restricción nutricional durante la gestación tardía podría afectar el crecimiento posnatal y la fisiología (Barker *et al.*, 1993). En el ganado vacuno, también se ha observado que la nutrición fetal influye en el tamaño y el crecimiento de la fibra muscular, la adipogénesis (Long *et al.*, 2012; Du *et al.* 2013) y la calidad de la carne (Larson *et al.*, 2009; Shoup *et al.*, 2015). Poco se sabe sobre los impactos en el rendimiento reproductivo de la descendencia femenina o cómo podría verse afectada la función endócrina. Estudios previos indican que la suplementación con proteínas durante el último tercio de la gestación aumentó el peso vivo y la fertilidad de las vaquillonas. Funston *et al.* (2010), suplementaron vaquillonas con proteínas durante la gestación tardía y concluyeron que la nutrición prenatal tendía a afectar la edad en la pubertad de las hijas. Investigaciones previas de Martin *et al.* (2007) indican que la suplementación con proteínas durante el último tercio de la gestación dio como resultado un aumento del peso corporal en el diagnóstico previo a la gestación y la preñez, así como una mayor tasa de preñez de hijas de madres suplementadas en comparación con hijas de madres no suplementadas. Sin embargo, no está claro si las respuestas observadas en los experimentos anteriores se debieron específicamente a la proteína suplementada o a un aumento general en la ingesta total de energía asociada con un aumento de la suplementación de proteínas disponibles en el rumen. Por el contrario, Shoup *et al.* (2017) concluyeron que la suplementación de vacas durante la gestación tardía con subproductos de destilados de granos de maíz y cáscara de soja no afectó el crecimiento y el rendimiento reproductivo de la progenie femenina posterior.

En el presente estudio se determinaron los efectos de la suplementación con proteínas

durante la gestación en la etapa media y tardía sobre la ganancia de peso corporal, la reproducción, la concentración sérica de insulina e IGF-1 y la glucosa en sangre total en la descendencia femenina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Todos los procedimientos con animales se realizaron de conformidad con los procedimientos aprobados por CIUCAE INTA-CERBAS n°87, Buenos Aires, Argentina.

Los procedimientos experimentales se describen en López Valiente *et al.* (2018). Brevemente, las vacas Angus multíparas de antecedentes genéticos similares fueron inseminadas usando semen de un solo padre mediante un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo, luego las vacas fueron expuestas a un toro durante 15 días. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar. El tratamiento inició a los  $121 \pm 14$  días de gestación, las vacas se estratificaron por peso vivo y fecha de parto prevista y se asignaron en 24 corrales con una dieta baja en proteínas (LP; 6% CP) o alta en proteínas (HP; 12% CP) a 12 corrales por tratamiento. Las vacas fueron alimentadas para cumplir con el 100% de los requerimientos de NEm en ambos tratamientos y proporcionar el 64% y el 121% de los requerimientos de CP para LP y HP, respectivamente. La dieta LP consistió en 98,5% de ensilaje de maíz y 1,5% de premezcla mineral y la dieta HP consistió en 87,5% de ensilaje de maíz, 10% de pellet de girasol, 1% de urea y 1,5% de mineral premezclado. A todas las vacas se les permitió parir naturalmente y después del parto, el par vaca-ternero se manejó como un grupo en verdes de invierno y pasturas hasta el destete (221 días). Después del destete las vaquillonas se separaron de sus hermanos y se manejaron como un grupo de acuerdo a las prácticas agrícolas comerciales del Instituto Nacional de Tecnología Agrícola (INTA).

Los tratamientos se limitaron a la vaca desde la gestación media a tardía y no se aplicaron tratamientos adicionales a los terneros después del nacimiento. Después del destete,



las vaquillonas LP ( $n = 15$ ) y HP ( $n = 13$ ) se manejaron como un grupo hasta el final de la prueba. Las vaquillonas consumieron pasturas nativas y verdes de invierno durante todo el estudio.

Todas las vaquillonas se pesaron cada 3,2 meses ( $\pm 0,8$ ) hasta los 20 meses de edad (correspondiente al diagnóstico de preñez). Las mediciones de ultrasonido del espesor de la grasa de la costilla 12 y el área del músculo *Longissimus* (LM) se tomaron entre la costilla 12 y la 13 del lado derecho de las vaquillonas, cada 5 meses desde los 10 meses de edad hasta el diagnóstico de preñez utilizando un Aquila pro, Esaote Europe B.V. Maastricht, NL; Sonda de 3,5 MHz.

Se recogieron muestras de sangre vía yugular en vaquillonas al mismo tiempo que se registraron los pesos vivos para determinar las concentraciones de glucosa en sangre, insulina sérica e IGF-1. Las concentraciones de glucosa se midieron usando un glucómetro de mano (Abbott®, Reino Unido) como se describió previamente por Wittrock *et al.*, (2013). Las concentraciones séricas de IGF-1 se determinaron mediante un radioinmunoensayo (RIA) realizado después de la extracción con etanol ácido como se describe por Lacau-Mengido *et al.* (2000).

Para determinar el tiempo de inicio de la pubertad en las vaquillonas, se recolectó sangre semanalmente desde los 13,2 hasta los 16,5 meses de edad con el fin de determinar las concentraciones de progesterona en suero. Se consideró que el inicio de la actividad lútea ovárica se produjo en la primera de dos fechas cuando la concentración de progesterona fue  $\geq 1$  ng / ml en dos muestreos consecutivos. Con el fin de determinar la curva de concentración de progesterona durante un ciclo estral, se sincronizaron 6 vaquillonas LP y 6 HP seleccionadas al azar usando un dispositivo de liberación de fármaco interno controlado (Cronipres®, Biogenesis-Bago, Argentina) durante 7 días, luego se extrajo el dispositivo y se administraron por vía intramuscular 500  $\mu$ g de cloporostenol (Ciclase DL®, Syntex, Argentina) y 1 mg de benzoa-

to de estradiol (Benzoato de estradiol Syntex®, Argentina). Se recogieron muestras de sangre a los días 0 y 7 (día de colocación y extracción del dispositivo) y cada dos días hasta el día 35. La progesterona sérica se determinó mediante inmunoensayo enzimático quimioluminiscente (IMMULITE @ 2000). A los 16,5 meses de edad, las vaquillonas se expusieron a un toro durante 60 días y el diagnóstico de preñez se realizó mediante ecografía transrectal 45 días después de la finalización del período de reproducción.

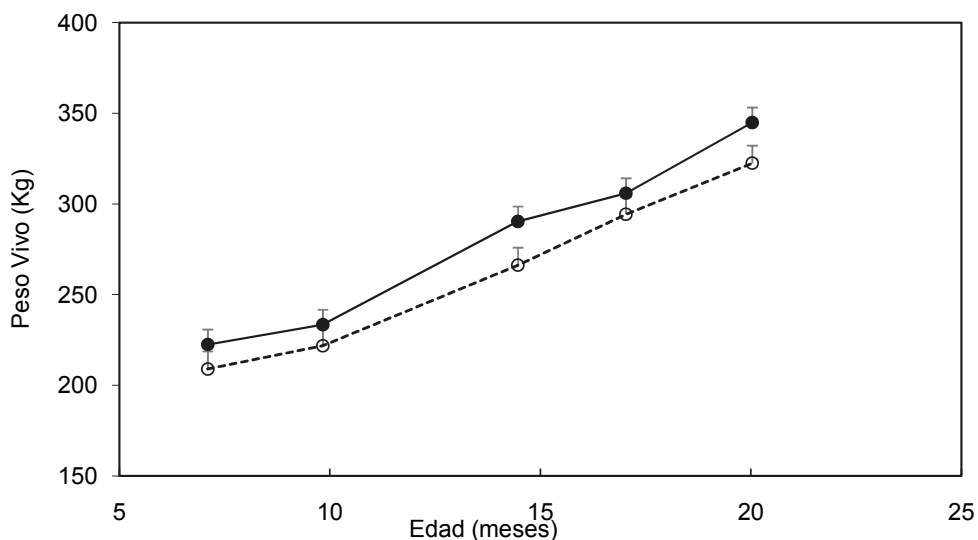
El diseño experimental fue un diseño de bloques completos al azar, donde las vacas originales (madres de las vaquillonas) fueron bloqueadas de acuerdo al peso vivo y la fecha esperable de parto. Para todos los datos, el corral se consideró la unidad experimental. Todos los datos se analizaron utilizando los procedimientos lineales mixtos de SAS (SAS Institute, Cary, NC, EE. UU.), donde el tratamiento y el bloqueo fueron el efecto fijo, mientras que el corral anidado al bloque fue el efecto aleatorio. Los pesos vivos, el área de ojo de bife, grasa dorsal, las concentraciones de hormonas y glucosa se analizaron como un análisis de medidas repetidas utilizando el procedimiento MIXED de SAS con tratamiento, día y su interacción en el modelo. La tasa de preñez final se analizó mediante la prueba de Fisher. En todos los casos, se presentan los mínimos cuadrados y el MSE; las diferencias se consideran significativas a  $P \leq 0,05$ , con una tendencia a  $P \leq 0,10$ .

## RESULTADOS

La evolución del peso vivo de las vaquillonas desde el destete hasta los 20 meses se presenta en la figura 1. El nivel de proteína preparto de la madre no afectó el peso vivo de las vaquillonas ( $P = 0,16$ ) pero las hijas de las vacas HP tuvieron una ganancia de peso vivo mayor que las vaquillonas LP ( $0,45 \pm 0,02$  vs.  $0,35 \pm 0,02$  kg / d;  $P = 0,03$ ; Figura 1). Las vaquillonas hijas de las vacas HP tuvieron igual altura a la grupa que las hijas de las vacas LP durante toda la recría ( $115,05 \pm 1,03$  vs.  $115,33 \pm 1,22$  cm;  $P=0,88$ ). El área

de ojo de bife a los 20 meses de edad fue mayor en vaquillonas hijas de vacas HP en comparación con las vaquillonas LP ( $44,3 \pm 1,5$  vs.  $49,9 \pm 1,7$  cm<sup>2</sup>;  $P=0,01$ ). Sin embar-

go, el nivel de proteína alimentada durante la gestación no afectó el grosor de la grasa dorsal de las hijas ( $P = 0,75$ ) hasta los 20 meses de edad.



**Figura 1.** Evolución del peso vivo (medias  $\pm$  SEM) de las vaquillonas hijas de madres no suplementadas (6% CP, línea discontinua) o suplementadas (12% CP, línea continua) con proteína durante la gestación tardía (tratamiento,  $P = 0,16$ ; tiempo,  $P < 0,001$ ; tratamiento x tiempo,  $P = 0,44$ ).

Las concentraciones séricas de IGF-1 fueron mayores en las vaquillonas HP en comparación con las vaquillonas LP ( $P = 0,05$ ), mientras que las concentraciones de insulina sérica y glucosa en sangre no fueron influenciadas por el nivel de proteína materna en ningún momento de muestreo ( $P > 0,19$ ).

El efecto del tratamiento nutricional de la vaca durante la gestación media a tardía sobre el rendimiento reproductivo de las va-

quillonas se presenta en el cuadro 1. La nutrición preparto de la vaca no afectó la edad a la pubertad ( $P = 0,98$ ) y la preñez al finalizar el servicio ( $P = 0,28$ ), pero las vaquillonas LP fueron 30,8 kg más livianas ( $P = 0,01$ ) que las vaquillonas HP a la pubertad. Así mismo, el nivel de nutrición de la madre no tuvo efecto ( $P > 0,11$ ) en las curvas de progesterona recolectadas durante un ciclo estral en las 6 vaquillonas muestreadas por tratamiento.

**Cuadro 1.** Efecto del nivel de proteína en la dieta durante el la gestación tardía en la respuesta reproductiva de las hijas.

Ítem	Tratamientos <sup>1</sup>		Valor P
	LP	HP	
Edad a la pubertad (días)	435 ± 10	435 ± 10	0,98
Peso vivo a la pubertad (kg)	278 ± 16	309 ± 16	0,01
Preñez (%)	73,3 ± 11	53,8 ± 11	0,28
Progesterona (ng/mL)	4,41 ± 0,37	3,37 ± 0,37	0,23
Días del ciclo (días)	11,2 ± 0,5	10,6 ± 0,5	0,35
Pico de progesterona (días)	7,30 ± 0,70	6,01 ± 0,69	0,11
Concentración máxima de progesterona (ng/mL)	8,00 ± 1,18	9,24 ± 1,16	0,48
Área bajo la curva de progesterona	52,3 ± 4,4	41,2 ± 4,2	0,21

<sup>1</sup>LP: Baja proteína (6% PC); HP: Alta proteína (12% PC)

## DISCUSIÓN

Las vaquillonas HP tuvieron una mayor ganancia de peso vivo, sin embargo el peso vivo, la altura de la grupa y el grosor de la grasa de la costilla 12 fueron similares entre los tratamientos. En otras investigaciones no se observaron diferencias en ganancias de peso diarias en vaquillonas (Martin *et al.*, 2007; Maresca *et al.*, 2018) o novillos (Larson *et al.*, 2009; Funston *et al.*, 2010; Maresca *et al.*, 2018) nacidos de vacas suplementadas con proteína durante gestación tardía. Las vaquillonas HP alcanzaron la pubertad a un peso vivo mayor en comparación con las vaquillonas LP ( $P = 0,01$ ). Las vaquillonas hijas de las vacas HP tuvieron mayores concentraciones de IGF-1 que las vaquillonas nacidas de las vacas LP ( $P = 0,05$ ) hasta los 20 meses de edad. El mayor peso vivo a la pubertad de las vaquillonas HP en comparación con las LP podría explicarse por un control de crecimiento endócrino postnatal diferente, lo que se vio reflejado en mayores concentraciones séricas de IGF-1 en vaquillonas HP en comparación con las LP durante el estudio.

La nutrición proteica de las vacas preñadas también podría influir en el rendimiento reproductivo de la progenie de vaquillonas. Martin *et al.* (2007) informaron que el porcentaje de vaquillonas que parieron en los primeros

21 días de la temporada de parto fue mayor para las vaquillonas hijas de vacas suplementadas con proteínas en comparación con las no suplementadas. Un hallazgo similar fue reportado por Cushman *et al.* (2014) al limitar la disponibilidad de nutrientes durante la gestación tardía. Martin *et al.* (2007) informaron una tasa general de preñez del 93% frente al 80% para las vaquillonas suplementadas o no suplementadas con proteínas, respectivamente. Sin embargo, en este estudio el nivel de proteína no afectó la tasa final de preñez. Un resultado similar fue reportado por Warner *et al.* (2011) en el que no se observaron diferencias en las tasas de preñez de las vaquillonas hijas de vacas que pastoreaban residuos de maíz y que recibían un suplemento proteico en comparación con las vacas que pastoreaban residuos de maíz y que no recibían ningún suplemento durante la gestación tardía. Estos resultados concuerdan con los datos presentados por Funston *et al.* (2010) donde el porcentaje de preñez de las vaquillonas hijas de vacas suplementadas con proteínas no se vieron afectadas por el tratamiento. Cushman *et al.* (2014) no encontraron diferencias en el porcentaje de preñez de las hijas cuando sus madres fueron asignadas a una ingesta de nutrientes baja (75% de mantenimiento), moderada (100% de mantenimiento) o alta (125% de mantenimiento) durante el segundo o tercer trimestre. Algunos autores encontraron que

la desnutrición durante la gestación afecta la edad en la pubertad (Guzman, 2005; Funston *et al.*, 2010). Sin embargo, estos resultados no están de acuerdo con Nepomuceno *et al.* (2017) y Martin *et al.* (2007). En el experimento actual, la suplementación con proteínas a la vaca no afectó la edad a la pubertad o la fertilidad de la descendencia. Una posible razón de la falta de diferencias es que se utilizaron vacas multíparas, las cuales son menos susceptibles a la restricción de nutrientes en comparación con las vacas primíparas (Long *et al.*, 2009). Podría afectar a dichos resultados el pequeño tamaño de la muestra y, por lo tanto, la potencia reducida junto con las complejas influencias en la reproducción en general probablemente limitó la detección de la diferencia. La falta de respuesta de las características reproductivas podría deberse al hecho de que estas variables están comúnmente influenciadas por la nutrición en otras etapas de la gestación o por una combinación de restricciones de energía y proteína.

## CONCLUSIÓN

En conclusión, la suplementación proteica de las vacas durante la gestación tardía resultó en una mayor ganancia de peso diaria, área de ojo de bife y mayores concentraciones de IGF-1 en suero en la progenie. Las vaquillonas HP habían alterado el crecimiento y la composición corporal, pero la edad a la pubertad y el rendimiento reproductivo durante la primera temporada de reproducción fueron similares.

## BILIOGRAFÍA

**Barker, D.J.; Martyn, C.N.; Osmond, C.; Hales, C.N.; Fall, C.H.** 1993. Growth *in utero* and serum cholesterol concentrations in adult life. *British Medical Journal*, 307: 1524–1527. <https://doi.org/10.1136/bmj.307.6918.1524>

**Cushman, R.A.; Mcneel, A.K.; Freetly, H.C.** 2014. The impact of cow nutrient status during the second and third trimesters on age at puberty, antral follicle count and fertility. *Livestock Science*, 162: 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.033>

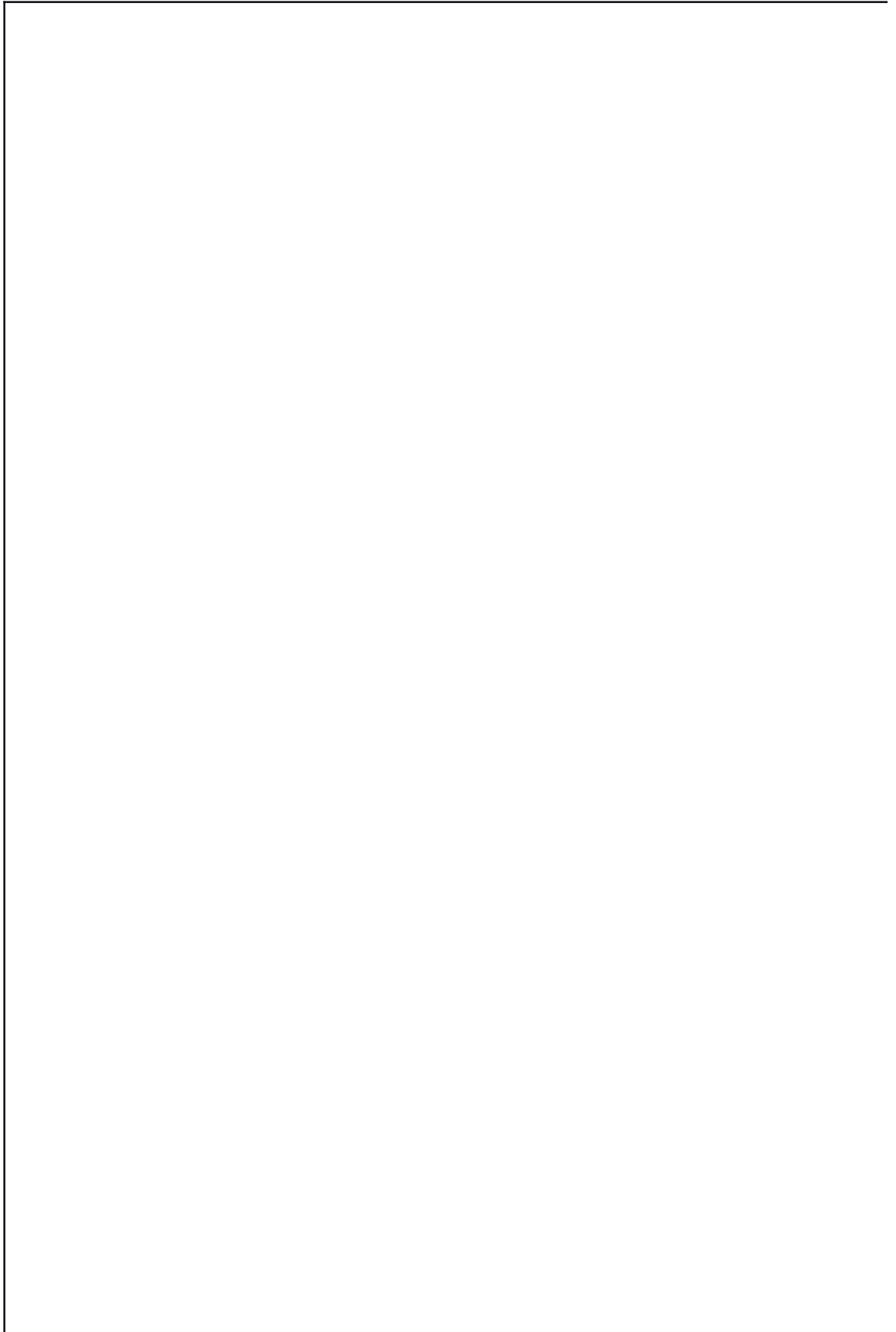
**Du, M.; Huang, Y.; Das, A.K.; Yang, Q.; Duarte, M.S.; Dodson, M.V.; Zhu, M.J.** 2013. *Meat Science* and muscle Biology Symposium: Manipulating mesenchymal progenitor cell differentiation to optimize performance and carcass value of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 91(3): 1419–1427. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5670>.

**Funston, R.N.; Martin, J.L.; Adams, D.C.; Larson, D.M.** 2010. Winter grazing system and supplementation of beef cows during late gestation influence heifer progeny. *Journal of Animal Science*, 88(12): 4094–4101. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3039>

**Guzmán, C.; Cabrera, R.; Cárdenas, M.; Larrea, F.; Nathanielsz, P.W.; Zambrano, E.** 2006. Protein restriction during fetal and neonatal development in the rat alters reproductive function and accelerates reproductive ageing in female progeny. *The Journal of physiology*, 572(1): 97–108. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.103903>

**Lacau-Mengido, I.M.; Mejía, M.E.; Díaz-Torga, G.S.; Gonzalez Iglesias, A.; Formía, N.; Libertun, C.; Becú-Villalobos, D.** 2000. Endocrine studies in ivermectin-treated heifers from birth to puberty. *Journal of Animal Science*, 78(4): 817–824. <https://doi.org/10.2527/2000.784817x>

- Larson, M.D.; 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.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2008-1323>
- Long, N.M.; Tousley, C.B.; Underwood, K.R.; Paisley, S.I.; Means, W.J.; Hess, B.W.; Du, M.; Ford, S.P.** 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(1): 197–206.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2011-4237>
- Long, N.M.; Vonnahme, K.A.; Hess, B.W.; Nathanielsz, P.W.; Ford, S.P.** 2009. Effects of early gestational undernutrition on fetal growth, organ development, and placentomal composition in the bovine. *Journal of Animal Science*, 87: 1950–1959.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2008-1672>
- López Valiente, S.; Maresca, S.; Rodríguez, A.M.; Palladino, R.A.; Lacau-Mengido, I.M.; 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 Scientists*, 34(3): 261–268. <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01701>
- Maresca, S.; López Valiente, S.; Rodríguez, A.M.; Long, N.M.; Pavan, E.; Quintans, G.** 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.04.009>
- Martin, J.L.; Vonnahme, K.A.; Adams, D.C.; Lardy, G.P.; Funston, R.N.** 2007. Effects of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *Journal of Animal Science*, 85(3): 841–847.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2006-337>
- Nepomuceno, D.D.; Pires, A.V.; Ferraz, M.V.C.; Biehl, M.V.; Gonçalves, J.R.S.; Moreira, E.M.; Day, M.L.** 2017. Effect of prepartum dam supplementation, creep-feeding and post-weaning feedlot on age at puberty in Nellore heifers. *Livestock Science*, 195: 58–62.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.11.008>
- Shoup, L.M.; Ireland, F.A.; Shike, D.W.** 2017. Effects of dam prepartum supplement level on performance and *Reproduction of heifer progeny* *Reproduction of heifer progeny*. *Italian Journal of Animal Science*, 16(1): 1954–1961.  
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1269301>
- 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.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2014-8565>
- Warner, J.M.; Martin, J.L.; Hall, Z.C.; Kovarik, L.M.; Hanford, K.J.; Rasby, R.J.** 2011. The effects of supplementing beef cows grazing cornstalk residue with a dried distillers grain based cube on cow and calf performance. *Professional Animal Scientists*, 27(6): 540–546.  
[https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30536-2](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30536-2)
- Wittrock, J.A.M.; Duffield, T.F.; LeBlanc, S.J.** 2013. Short communication: Validation of a point-of-care glucometer for use in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(7): 4514–4518. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6533>



# EFECTO DE DOS NIVELES DE ENERGÍA EN EL ALIMENTO DE ÚLTIMO TERCIO DE GESTACIÓN EN BOVINOS PARA CARNE SOBRE EL DESEMPEÑO DE LA PROGENIE AL NACIMIENTO Y PUBERTAD

C. Batista<sup>1</sup>; J.I. Velazco<sup>2</sup>; F. Baldi<sup>3</sup>; G. Banchemo<sup>4</sup>; G. Quintans<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se evaluó el efecto del nivel energético de la dieta durante el último tercio de gestación en vacas de carne, sobre las placentas, comportamiento y morfometría de las hijas al parto y la edad a la pubertad. Treinta y una vacas cruza múltiparas, inseminadas por IATF (inseminación artificial a tiempo fijo) y gestando hembras fueron asignadas a dos tratamientos de alimentación energética en el Día -90 (Día 0=parto): i- 125% de los requerimientos (AL; n=15) y ii- 75% de los requerimientos (BA; n=16). En las vacas se registró duración del parto y características de la placenta y en las terneras el tiempo que insumió pararse, mamar y el total del tiempo mamando. Posparto se registró peso vivo, largo y alto de las terneras. La duración del parto y las características de las placentas no fueron afectadas por los tratamientos; tampoco el peso de las terneras. La altura de las terneras fue menor en BA respecto a AL (70,2±1,0 vs. 72,2±1,0 cm;  $P=0,03$ ); diferencia que desaparece al emplear peso vivo al nacimiento como covariable. El resto de la morfometría, así como el comportamiento no fueron afectados por los tratamientos, aunque las terneras de BA tendieron a mamar antes que las terneras AL (9,2±8,9 y 24,6±8,4 min;  $P=0,08$ ). La ganancia de peso de las terneras AL fue mayor ( $P<0,01$ ), y la edad a la pubertad no fue afectada por los tratamientos. La restricción energética impuesta durante el último tercio de gestación no generó cambios evidentes en las variables evaluadas, posiblemente debido a la capacidad de adaptación que tienen las vacas de carne en sistemas pastoriles.

**Palabras clave:** programación fetal, subnutrición, posparto inmediato, vacas de cría

## ABSTRACT

The effect of energy intake during late gestation in beef cows on the placentas, behaviour and morphometry of the female calves at parturition and age at puberty was evaluated. Thirty-one British multiparous cows, inseminated by FTAI (fixed time artificial inseminated) and carrying female calves were assigned to two energy-feeding treatments on Day -90 (Day 0=parturition): i- 125% of requirements (AL, n=15) and ii- 75 % of requirements (BA; n=16). Duration of delivery and characteristics of the placenta were recorded in the cows. In the calves, time trying to stand, suckle and the total time suckling were recorded. Postpartum live weight, length and height of the calves were recorded. Duration of delivery and the characteristics of placentas were not affected by the treatments; neither the calves birth weight. Height of the calves was lower in BA compared to AL (70.2±1.0 vs. 72.2±1.0 cm,  $P=0.03$ ); that difference disappear when using birth weight as a covariate. The rest of the morphometry, as well as the behaviour, were not affected by the treatments, although calves of BA tended to suckle earlier than AL (9.2±8.9 and 24.6±8.4 min;  $P=0.08$ ). Daily weight gain was higher in calves AL ( $P<0.01$ ) and age at puberty was not affected by treatments. The energy restriction imposed during the last third of gestation did not generate evident changes in the evaluated variables, possibly due to the adaptability that meat cows have in pastoral systems.

**Keywords:** fetal programming, subnutrition, immediate postpartum

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

<sup>2</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Treinta y Tres, Uruguay.

<sup>3</sup> Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista, Brasil.

<sup>4</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA La Estanzuela, Uruguay.

## INTRODUCCIÓN

Bajo condiciones de pastoreo y especialmente de pasturas nativas, la capacidad de cubrir los requerimientos del último tercio de gestación de vacas de carne puede estar limitada por la baja cantidad y calidad de alimento. Esto condiciona la adecuada ingesta de energía y proteína afectando el peso vivo y condición corporal de la madre gestante (Martin *et al.*, 2007; Quintans *et al.*, 2008; Scarsi y Quintans, 2013). En el último tercio de gestación la energía requerida para el mantenimiento de la gestación en la vaca representa un 39% del total de energía, en tanto la demanda proteica es menor. En humanos, ovinos y bovinos las alteraciones en la nutrición materna y en la función placentaria están asociadas con bajo crecimiento fetal, poco desarrollo y bajo peso al nacimiento (Barker, 1998; Greenwood *et al.*, 2010; Reyes, 2015). Por otra parte, en bovinos el desarrollo de la placenta comienza a los 25 a 30 días de gestación y su crecimiento máximo y desarrollo se alcanza en el último tercio de gestación, acompañando el crecimiento del feto e incrementando la demanda de energía (Assis *et al.*, 2010). En vacas para carne con subnutrición energética durante el primer tercio de gestación el peso placentario disminuyó sin cambiar el peso fetal (Vonnahme *et al.*, 2007). Cuando la subnutrición en la gestación temprana fue proteica, Zhu *et al.* (2007) reportaron bajo peso de placenta y de los terneros al nacimiento.

Son escasas las observaciones documentadas del efecto del estado nutricional de las vacas al final de la gestación sobre el vigor de las crías (Riley *et al.*, 2004). En este sentido, Kroker y Cummings (1979) reportaron que el vigor fue afectado negativamente en los terneros hijos de vaquillonas mantenidas con bajo plano de alimentación durante el último tercio de gestación. Por otra parte, en ovinos también fue observado un efecto negativo en el vigor del cordero cuando la demanda nutricional no fue cubierta en la etapa fetal (Dwyer *et al.*, 2005). Bancho *et al.* (2005) reportaron que corderos nacidos de ovejas en buena condición corporal

presentaron mejor comportamiento y vigor al parto que aquellos nacidos de ovejas en baja condición corporal.

Resulta evidente también que la nutrición energética inadecuada de bovinos y ovinos 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 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. Sin embargo, Jennings *et al.*, (2016), no observaron diferencias a los 170 días de gestación en peso vivo y medidas morfométricas fetales en vacas para carne alimentadas en tres planos diferentes de energía. Es claro que el ambiente nutricional condiciona el desarrollo y tamaño de las crías al parto (Funston *et al.*, 2010) y se requiere más información acerca del efecto nutricional energético en el último tercio de gestación sobre el desarrollo y comportamiento de la progenie en vacas de carne.

El efecto de la nutrición energética en el último tercio de gestación sobre la edad a la pubertad de la progenie tiene escasos reportes documentados. Cushman *et al.* (2014) y Corah *et al.* (1975) no observaron influencias sobre la edad a la pubertad de las hijas de vacas suplementadas con niveles bajos de energía. En cambio tratamientos con altos valores nutricionales en la dieta de ovejas en el último tercio de gestación provocaron diferencias en edad a la pubertad (Da Silva *et al.*, 2003). Se requiere mayor información del efecto nutricional energético en el último tercio de gestación sobre la edad a la pubertad de la progenie de vacas de carne.

Nuestra hipótesis de trabajo fue que un bajo nivel energético (75% de los requerimientos) durante el último tercio de gestación en vacas de carne afecta el desarrollo de la placenta, de las terneras y el comportamiento de estas en las primeras horas de vida,



además de la edad a la pubertad. El objetivo del experimento fue conocer las características placentarias, evaluar el comportamiento y las características morfológicas y edad a la pubertad de terneras nacidas de vacas que recibieron planos nutricionales contrastantes durante el último tercio de gestación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y diseño experimental

El experimento fue realizado en la Unidad Experimental Palo a Pique de INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) Treinta y Tres (Uruguay, 33°S, 56°O) y los procedimientos con animales aprobados por la comisión para la experimentación animal de Uruguay (CHEA, 0009/11). De un rodeo experimental de 200 vacas de cría fueron seleccionadas 31 vacas cruce (Aberdeen Angus x Hereford), de 4 - 9 años, múltiparas, inseminadas por IATF (inseminación a tiempo fijo) sin repaso con toros y comenzando su último tercio de gestación. Los toros utilizados ( $n = 4$ ) para la inseminación fueron seleccionados por bajo peso al nacimiento. El diagnóstico de gestación y determinación del sexo de las crías fue realizado el día 116 post inseminación. Se identificaron las vacas gestando hembras y se determinó fecha probable de parto considerando el largo de gestación de 280 días. Considerando el parto como el día 0, en el día -90 las vacas fueron asignadas a dos tratamientos hasta el parto: i- alimentadas al 125% de los requerimientos energéticos de mantenimiento (AL;  $n = 15$ ) y ii- alimentadas al 75% de los requerimientos energéticos de mantenimiento (BA;  $n = 16$ ) (NRC, 2000).

### Alimentación

Desde el inicio y durante todo el experimento las vacas fueron alimentadas con un concentrado comercial (balanceado de recría con fibra, RINDE® S.A., Uruguay) y 2 kg de heno seco como fibra efectiva (*Lolium perenne* y *Holcus mollis*), ofrecidos en dos comidas diarias. Veinticinco gramos de amortiguador de pH ruminal (Acid-Buf® Cel-

tic Sea Minerals, Co. Cork, Ireland) a base de algas marinas calcáreas con 30 % Ca+2, 5,5 % Mg y 500 ppm de P fue agregado al concentrado. Se suministró sal comercial *ad libitum* en el corral con 16 % Ca+2 y 6 % P (Bovifos®, Nutral, Canelones, Uruguay). Previo al comienzo del experimento todas las vacas fueron acostumbradas a consumir el concentrado comercial por un período de 20 días. Las vacas fueron manejadas durante el periodo experimental en un corral a cielo abierto con piso de arena, disponiendo de 30 m<sup>2</sup> 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. La alimentación fue ajustada (NRC, 2000) el Día -90 de acuerdo con el estado fisiológico y peso vivo (PV) promedio de las vacas resultando en 8,0 y 4,8 kg de concentrado por animal y por día para AL y BA respectivamente. En el Día -45, la cantidad de concentrado fue nuevamente ajustada de acuerdo con el PV promedio resultando en 9,1 kg y 5,4 kg por animal y por día para AL y BA respectivamente.

### Mediciones en los animales

El PV y la condición corporal (CC) de las vacas fue registrada en los Días -90 y -45 y dentro de las primeras 24 horas posparto. La escala de CC utilizada fue de 8 puntos (1: emaciada y 8: obesa; Vizcarra *et al.*, 1986). El largo de gestación fue registrado y desde el comienzo del período de partos estimado las vacas fueron vigiladas las 24 horas, el período de partos comenzó exactamente el día considerado y se extendió 14 días. Luego del parto se recogieron 11 placentas por tratamiento las que fueron drenadas y pesadas. La eficiencia placentaria (EP) fue obtenida por el cociente entre el PV de las terneras al nacimiento y el peso de la placenta. 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). Y 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 de 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). A 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 vertebra 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). Para las medidas morfométricas se utilizó cinta métrica con precisión  $\pm 1$  mm, manejada siempre por el mismo operario. Desde el parto hasta el destete y cada 14 días se registró el PV y la ganancia diaria (GD) de las terneras. La producción de leche de las vacas fue estimada a través de ordeño mecánico directo desde el día 16 posparto y cada 30 días hasta el destete (Quintans *et al.*, 2010). A partir de los 12 meses de edad se registró la actividad ovárica (AO) por ultrasonografía como método para determinar el inicio de la pubertad.

### Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado utilizando un modelo lineal mixto (SAS 9.4; SAS Institute Inc, Cary, NC, USA). Las variables analizadas se modelaron incluyendo como efecto fijo el tratamiento y edad de la madre, como aleatorios al padre y biotipo de la vaca. Para las variables morfométricas se incorporó como covariable el peso vivo al nacimiento y para edad a la pubertad el peso vivo. Los valores son presentados como media  $\pm$  error estándar (EE).

## RESULTADOS

Las vacas en AL y BA experimentaron evoluciones de PV y CC diferentes desde el comienzo de los tratamientos hasta el parto verificando la efectividad de los tratamientos nutricionales aplicados. El PV de las vacas al día  $-90$  fue en el tratamiento AL=  $464 \pm 11,8$  kg y en BA=  $475 \pm 15,4$  kg, ( $P= 0,53$ ), mientras la CC fue en el tratamiento AL=  $3,8 \pm 0,06$  u y en BA=  $3,9 \pm 0,08$  u, ( $P= 0,40$ ). Al día  $-45$  el PV de las vacas fue 6,7% menor en el tratamiento BA=  $459 \pm 15,4$  kg que en AL=  $492 \pm 11,8$  kg, ( $P= 0,07$ ) y la CC fue 7,3% menor en el tratamiento BA=  $3,8 \pm 0,08$  u que en AL=  $4,1 \pm 0,06$  u, ( $P=0,03$ ). En el posparto el PV de las vacas fue 7,5% menor en el tratamiento BA=  $417 \pm 15,4$  kg que en AL=  $451 \pm 11,8$  kg, ( $P=0,06$ ), mientras que la CC fue 9,5% menor en el tratamiento BA=  $3,8 \pm 0,08$  u que en AL=  $4,2 \pm 0,06$  u, ( $P<0,01$ ). El largo de gestación fue  $281 \pm 1,3$  días en el grupo AL y  $280 \pm 1,3$  días en el grupo BA ( $P=0,15$ ). El peso de las placentas no fue significativamente diferente entre tratamientos, aunque las vacas en BA tuvieron placentas numéricamente 11% más livianas que las vacas en AL ( $4,1 \pm 0,7$  kg y  $4,6 \pm 0,7$  kg para BA y AL respectivamente,  $P=0,18$ ), también la EP fue similar entre los tratamientos ( $8,86 \pm 0,7$  para AL y  $8,6 \pm 0,6$  para BA ( $P=0,77$ ). La duración del parto, el intervalo entre el nacimiento e intentar pararse no fueron afectados por los tratamientos impuestos a las vacas. Las terneras del tratamiento BA tendieron a mamar en menor tiempo, 14 minutos antes, que las del tratamiento AL ( $27,3 \pm 11,2$  minutos y  $40,8 \pm 11,7$  minutos respectivamente,  $P=0,07$ ), aunque el tiempo total mamando no fue diferente entre tratamientos ( $P= 0,95$ ). No hubo diferencia en el PV de las terneras al nacimiento entre los tratamientos ( $33,2 \pm 2,5$  kg y  $32,0 \pm 2,3$  kg para AL y BA respectivamente,  $P=0,33$ ). Dentro de las variables morfométricas, el tratamiento solo afectó el valor observado para la altura siendo las terneras del tratamiento AL más altas que las BA ( $72,2 \pm 1,0$  centímetros y  $70,2 \pm 1,0$  centímetros respectivamente,  $P=0,03$ ). Al corregir las medidas por el peso vivo de

la ternera al nacimiento, los tratamientos no afectaron ninguna de las variables morfométricas. Los tratamientos no afectaron el PV de las terneras desde el nacimiento hasta el destete y tampoco a la pubertad. Las terneras hijas de vacas del tratamiento AL presentaron mayor GD al destete que las de BA

( $P=0,01$ ) (Cuadro 1). La producción de leche no fue afectada por los tratamientos siendo  $AL= 7,61 \pm 0,33$  kg/día y  $BA= 7,72 \pm 0,37$  kg/día, ( $P=0,79$ ). La totalidad de las terneras entraron en pubertad no habiendo diferencias en la edad y PV entre los tratamientos (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Peso vivo, ganancia diaria y edad a la pubertad de terneras hijas de vacas en alto y bajo plano nutricional en el último tercio de gestación

Variables	Alta	Baja	P
Número de animales	15	16	
PV (kg) nacimiento	$34 \pm 3,2$	$32 \pm 3,6$	0,60
PV (kg) 90 días	$76 \pm 2,1$	$74 \pm 2,3$	0,58
GD (kg/día) 90 días	$0,84 \pm 0,02$	$0,81 \pm 0,02$	0,12
PV (kg) destete	$117 \pm 3,0$	$113 \pm 3,5$	0,25
GD (kg/día) destete	$0,9 \pm 0,02$	$0,84 \pm 0,02$	<0,01
Edad a la pubertad (meses)	14,7	15	0,12
PV (kg) pubertad 15 meses	$331 \pm 8,5$	$318 \pm 8,7$	0,10

Alta= 125% de los requerimientos de energía, Baja= 75% requerimientos de energía, PV= peso vivo, GD= ganancia diaria

## DISCUSIÓN

El manejo nutricional impuesto a las vacas durante el último tercio de gestación, en condiciones controladas, fue efectivo en generar diferencias en el peso vivo y la condición corporal de las madres al parto. Sin embargo, el nivel de restricción energética impuesta a las vacas del tratamiento BA (cubriendo solamente el 75% de sus requerimientos) no afectó todas las características evaluadas en la progenie.

Se podría especular que en respuesta a los niveles de proteína en los tratamientos (40% BA y 120% AL) por encima del requerimiento (NRC 2000), aumentaría la disponibilidad de energía provocando aumento de las reservas grasas corporales i.e. CC de las vacas. Sin embargo, se observó que la CC fue menor en el tratamiento BA. Probablemente la gran disponibilidad de carbohidratos de rápida degradación provocó mayor absorción de grupos amino N por parte de los microorganismos y como consecuencia mayor

consumo y rápido agotamiento del amoníaco (Simeone *et al.*, 2004). En consecuencia la proteína ofrecida fue completamente utilizada por la flora ruminal para su propio metabolismo sin que se alterara la energía disponible y el balance dispuesto en los dos tratamientos (Simeone *et al.*, 2002). El exceso de proteína y el aumento del metabolismo en la flora ruminal provocarían aumento de AA disponibles afectando el desarrollo fetal y placentario, pero la suplementación de proteínas no parece afectar el crecimiento fetal en el último tercio de gestación (Lemaster *et al.*, 2016; NRC 2000). La diferencia de CC y PV de los tratamientos no parece explicarse por los niveles de proteína si no por los cambios de la reserva grasa.

El aumento de peso vivo de las vacas entre los tratamientos en el último tercio de gestación hasta inicios del período de parto (30 kg AL y 19 kg BA) puede ser explicado por el aumento del tamaño fetal y placentario, así como al aumento de los líquidos gestacionales en dicho período (NRC 2000). Sin

embargo, las diferencias de peso vivo entre tratamientos no serían consecuencia directa del aumento en los tamaños fetal y placentarios o de líquidos de la gestación ya que no se observaron diferencias en el peso vivo de las terneras y pesos de las placentas. La diferencia en la evolución de la condición corporal de las vacas según tratamiento, durante el último tercio de gestación se explica fundamentalmente por el nivel de energía ofrecido en los tratamientos. Es posible hipotetizar que las vacas en BA realizaron una mayor movilización de reservas energéticas corporales para mantener su metabolismo asociado al menor aumento de peso vivo a finales de la gestación en relación con AL (NRC 2000). Sustenta esta hipótesis la evolución de la CC observada (significativamente menor al parto para las vacas de BA) dado que la CC es una valoración del estado de las reservas corporales del animal. Estos resultados coinciden con los observados por Corah *et al.* (1975) quienes observaron menor aumento de PV en vacas para carne en el último tercio de gestación alimentadas con niveles de energía del 50% de los requerimientos recomendados. Por otro lado, ovejas adultas alimentadas al 60% de los requerimientos de energía durante el último tercio de gestación también vieron afectada su condición corporal al parto (Quigley *et al.*, 2008).

El nivel de energía impuesta durante el último tercio de gestación no afectó el peso de la placenta. 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 final de la gestación. El desarrollo de la placenta así como su vascularización sólo se extienden hasta finales de la segunda mitad de la gestación (Assis *et al.*, 2010; Vonnahme *et al.*, 2007) por lo que no era esperable observar diferencias atribuibles a planos nutricionales aplicados en la gestación tardía. En nuestro trabajo los tratamientos se aplicaron después del período de mayor crecimiento y desarrollo de la placenta, lo que explicaría que las placentas del tratamiento de BA fueran únicamente 11% más livianas y tuvieran 10% menos cotiledones respecto a las

placentas de AL sin diferencias significativas evidentes. Niveles más pronunciados de restricción energética (60% de los requerimientos) y aplicados más tempranamente en la gestación (día 50 a 180 de gestación) provocaron alteraciones en la vascularización de la placenta con disminución del índice general de resistencia vascular, de la función placentaria y del peso fetal (Lemley *et al.*, 2018; Vonnahme y Lemley, 2012). Resulta claro que el riesgo de afectar la placenta y/o la función placentaria es pequeño cuando la restricción energética se da tarde en la gestación y no es de severidad extrema.

El comportamiento de las terneras en sus primeras horas de vida no se vio afectado por los niveles energéticos de la dieta ofrecida a las madres durante la gestación tardía. Respecto de los intervalos de tiempo evaluados desde el nacimiento hasta que la ternera logra pararse e intenta mamar, estos no fueron afectados por los tratamientos. Si bien las terneras del grupo BA tendieron a demorar menos en mamar ( $P=0,07$ ) respecto de las AL, esta tendencia no se verifica cuando se observan las restantes variables de comportamiento. Reafirmando este concepto, se observó que el tiempo dedicado a mamar en las primeras horas de vida no fue diferente entre BA y AL por lo que es posible especular que la energía y las inmunoglobulinas del calostro cosechado fueron suficientes en cantidad y calidad para cubrir los requerimientos de las terneras de ambos tratamientos. En un trabajo realizado por Quintans *et al.* (2012) la producción de calostro no registró diferencias ni en cantidad ni en calidad en vacas restringidas durante el parto pero que alcanzaron una CC al parto por encima de 3,8 u, similar al presente experimento. Es posible especular que en ambos experimentos el calostro cosechado fue suficiente para saciar los terneros.

Los niveles de energía consumida por las vacas en el último tercio de gestación no afectaron las medidas morfométricas y el peso vivo de las crías. Si bien la altura de las terneras BA fue 2 cm más baja que las terneras AL, esta diferencia desaparece cuando la

comparación se realiza empleando el peso vivo al nacimiento como covariable. Dicho de otro modo, la diferencia en altura es evidente únicamente cuando se comparan los valores observados y deja de serlo cuando se agrega el peso vivo como variable. El peso vivo de la cría al parto no fue afectado por los tratamientos aplicados, coincidiendo con los resultados de Jenings *et al.* (2016) en tratamientos de energía con 72% y 142% de los requerimientos, aunque para éste autor fueron aplicados en el segundo tercio de gestación. En cambio, vacas y vaquillonas alimentadas en el último tercio de gestación con niveles de energía de 50 a 60% de los requerimientos energéticos tuvieron detrimento de su peso vivo y mala condición corporal, y sus terneros fueron más livianos que los nacidos de vacas y vaquillonas con niveles de energía de 100% a 120% de los requerimientos (Corah *et al.*, 1975; Wiltbank y Remmenga, 1982). Las diferencias de peso vivo de las crías observadas en otros trabajos obedecen a que ante la carencia de energía materna, en el proceso de partición de la energía se afecta negativamente la cantidad de energía disponible para la gestación comprometiendo el desarrollo fetal (Bell, 1995; Corah *et al.*, 1975; Short *et al.*, 1990). Así, los niveles de energía (50% a 60% de los requerimientos) como también la categoría materna pueden afectar negativamente la disponibilidad de energía necesaria para el desarrollo fetal a finales de la gestación (Corah *et al.* 1975; Funston *et al.*, 2012; Johnson y Funston, 2013; NRC 2000; Schonmaker, 2013). Considerando que el mayor crecimiento prenatal se produce en el último tercio de gestación, los niveles nutricionales bajos en energía aplicados en nuestro trabajo no fueron lo suficientemente bajos para provocar una disminución en el peso vivo al nacimiento de las terneras.

Como fue discutido anteriormente, las variables placentarias no fueron afectadas por los tratamientos lo que supone el correcto desempeño de la placenta en el aporte de nutrientes hacia el feto. Además se mencionó, que la evolución de la CC de las vacas en BA ocurre por movilización de reservas corpora-

les para cubrir la falta de energía en la dieta, esto afectaría positivamente la disponibilidad de energía para el desarrollo del feto. Sin embargo, los niveles de energía en el último tercio de gestación afectaron la GD y no afectaron el PV de las terneras al destete. Las terneras del tratamiento AL fueron dos centímetros más altas al nacer, se podría suponer que tienen desarrollo dispar en el tamaño físico respecto a las terneras del tratamiento BA induciendo mayor GD sin modificar el PV (Fescina *et al.*, 2011). El PV de las terneras al destete no fue afectado, posiblemente por el suministro adecuado de la cantidad de leche, la producción de leche de las vacas de los tratamientos no fue diferente (Corah *et al.*, 1975). Se ha reportado que la GD predestete y el PV de la ternera tienen alta correlación con la edad y el adelanto de la pubertad (López-Mazz *et al.*, 2013). Sin embargo tampoco fue afectado el PV a la pubertad o la edad a la pubertad de las terneras. Cushman *et al.* (2014) no observaron influencias sobre el PV y edad a la pubertad de las hijas de vacas suplementadas con niveles de energía en las dietas similares a las implementadas en nuestro trabajo. Tratamientos con niveles bajos en proteína en el alimento de vacas preñadas en el último tercio de gestación obtuvieron resultados similares para pubertad y diferentes para PV (López Valiente, In Press, comunicación personal 2019). En ovinos la restricción de energía de 60% en el último tercio y realimentadas hacia el final de gestación afectó negativamente el PV de corderos al destete y la faena (Piaggio *et al.*, 2017). En cambio tratamientos con altos valores nutricionales en la dieta de ovejas en el último tercio de gestación provocaron diferencias en edad a la pubertad (Da Silva *et al.*, 2003). Tratamientos nutricionales con restricción energética más bajas que 75% aplicados a vacas en el último tercio de gestación afectaron negativamente el PV de las terneras al parto y al destete (Corha, 1975). Posiblemente los tratamientos nutricionales con restricciones del 75% y/o el momento gestacional en el que se aplicaron los tratamientos en nuestro trabajo no afectaron el desempeño productivo y reproductivo de las terneras (Corha, 1975; Cushman *et al.*, 2014; Mossa *et al.*, 2013).

## CONCLUSIÓN

La restricción energética impuesta en el último tercio de gestación no afectó las principales características de la progenie. Es importante destacar que la restricción energética impuesta se expresó tanto en el peso como en la CC de las madres resultando en diferentes evoluciones para estos parámetros desde el inicio de los tratamientos hasta el parto. Es posible, en base a estos resultados, afirmar que las vacas que experimentan pérdidas de CC dentro del rango reportado y en el último tercio de gestación no ponen en riesgo el desempeño de su progenie. Podríamos especular que las vacas pastoreando campo nativo son resilientes, es decir que tienen la capacidad de recuperarse frente a periodos adversos de escases de forraje. La oferta de alimento en condiciones pastoriles es variable por lo cual se necesita continuar generando información con niveles de restricción más severos que permita explorar el umbral a partir del cual se comprometería el desempeño futuro de la progenie.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal de apoyo del Programa Nacional de Investigación en Carne y Lana de la Unidad Experimental Palo a Pique y al personal de la Estación Experimental del Este por el compromiso, responsabilidad y dedicación con al que realizaron su trabajo diariamente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Assis Neto, A.C.; Pereira, F.T.V.; Santo, T.C.; Ambrosio, C.E.; Leiser, R.; Miglino, M.A.** 2010. Morpho-physical recording of bovine conceptus (*Bos indicus*) and placenta from days 20 to 70 of pregnancy. *Reproduction in Domestic Animals*, 45(5): 760–772. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2009.01345.x>
- Banchero, G.; Quintans, G.; Milton, J.; Lindsay, D.** 2005. Comportamiento maternal y vigor de los corderos al parto: Efecto de la carga fetal y la condición corporal. In: Seminario de Actualización Técnica. Reproducción ovina: recientes avances realizados por INIA, Montevideo, Uruguay. p. 61-67 (INIA Serie Actividades de Difusión; 401) <<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4562/1/Ad-401-Banchero-p.61-67.pdf>>.
- Barker, D.J.P.** 1998. *In utero* programming of chronic disease. *Clinical Science*, 95(2): 115–128.
- Bell, A.W.** 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science*, 73(9): 2804–2819. <https://doi.org/10.2527/1995.7392804x>
- Corah, L.R.; Dunn, T.G.; Kaltenbach, C.C.** 1975. Influence of prepartum nutrition on the reproductive performance of beef females and the performance of their progeny. *Journal of Animal Science*, 41(3): 819–824. <https://doi.org/10.2527/jas1975.413819x>
- Cushman, R.A.; McNeel, A.K.; Freetly, H.C.** 2014. The impact of cow nutrient status during the second and third trimesters on age at puberty, antral follicle count, and fertility of daughters. *Livestock Science*, 162: 252-258. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.033>

- Da Silva, P.; Aitken, R.P.; Rhind, S.M.; Racey, P.A.; Wallace, J.M.** 2003. Effect of maternal overnutrition during pregnancy on pituitary gonadotrophin gene expression and gonadal morphology in female and male foetal sheep at day 103 of gestation. *Placenta*, 24: 248–257. doi.org/10.1053/plac.2002.0897
- Dwyer, C.M.; Calvert, S.K.; Farish, M.; Donbavand, J.; Pickup, H.E.** 2005. Breed, litter and parity effects on placental weight and placentome number, and consequences for the neonatal behaviour of the lamb. *Theriogenology*, 63(4): 1092–1110. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.06.003>
- Fescina, R.H.; De Mucio, B.; Martínez, G.; Alemán, A.; Sosa, C.; Mainero, L.; Rubino, M.** 2011. Vigilancia del crecimiento. 2ª ed. CLAP/SMR Montevideo, Uruguay, 81 p.
- Funston, R.N.; Larson, D.M.; Vonnahme, K.** 2010. Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance, implications for beef cattle production. *Journal of Animal Science*, 88 (suppl\_13), E205-E215. doi:10.2527/jas.2009-2351
- Funston, R.N.; Summers, A.F.; Roberts, A.J.** 2012. Alpha Beef Cattle Nutrition Symposium: Implications of nutritional management for beef cow-calf systems. *Journal of Animal Science*, 90(7): 2301–2307. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4568>
- Gao, F.; Liu, Y.C.; Zhang, Z-H.; Zhang, C.Z.; Su, H.W.; Li, S.L.** 2012. Effect of prepartum maternal energy density on the growth performance, immunity, and antioxidation capability of neonatal calves. *Journal of Dairy Science*, 95(8): 4510–4518. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5087>
- Greenwood, P.L.; Bell, A.W.; Vercoe, P.E.; Viljoen, G.J.** 2010. Managing the prenatal environment to enhance livestock productivity, Springer Science Business Media B.V., 298pp. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3135-8>
- Jennings, T.D.; Gonda, M.G.; Underwood, K.R.; Wertz-Lutz, A.E.; Blair, A.D.** 2016. The influence of maternal nutrition on expression of genes responsible for adipogenesis and myogenesis in the bovine fetus. *Animal*, 10(10): 1697–1705. <https://doi.org/10.1017/S1751731116000665>
- Johnson, S.K.; Funston, R.N.** 2013. Post breeding heifer management. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 29: 627–641. doi:10.1016/j.cvfa.2013.07.002
- Kroker, G.A.; Cummins, L.J.** 1979. The effect of nutritional restriction on hereford heifers in late pregnancy. *Australian Veterinarian Journal*, 55: 467–474. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1979.tb00371.x>
- Lemaster, C.L.; Taylor, R.K.; Ricks, R.E.; Long, N.M.** 2016. The effects of late gestation maternal nutrient restriction with or without protein supplementation on endocrine regulation of new born and postnatal beef calves. *Theriogenology*, 87: 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.08.004>
- Lemley, C.O.; Hart, C.G.; Lemire, R.L.; King, E.H.; Hopper, R.M.; Park, S.B.; Rude, B.J.; Burnett, D.** 2018. Maternal nutrient restriction alters uterine artery hemodynamics and placentome vascular density in *Bos indicus* and *Bos taurus*. *Journal of Animal Science*, 96(11): 4823–4834. doi: 10.1093/jas/sky329
- López-Mazz.; Soca, P.; Quintans, G.; Carrquiry, M.** 2013. Efecto sobre la edad y el peso vivo a la pubertad y la ferilidad de terneras de vacas adultas manejadas durante la gestación en dos asignaciones de forraje: 4 y 2,5 kg MS/kgPV. INIA Treinta y Tres, pp. 61 (Serie FPTA-262).
- Martin, J.L.; Vonnahme, K.A.; Adams, D.C.; Lardy, G.P.; Funston, R.N.** 2007. Effects of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *Journal of Animal Science*, 85(3): 841–847. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-337>

**Mossa, F.; Carter, F.; Walsh, S.W.; Kenny, D.A.; Smith, G.W.; Ireland, J.L.H.; Hildebrandt, T.B.; Lonergan, P.; Ireland, J.J.** 2013. Maternal under nutrition in cows impairs ovarian and cardiovascular systems in their offspring. *Biology of reproduction*, 88(4): 92-1.

<https://doi.org/10.1095/biolreprod.112.107235>

**National Research Council.** 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000. Washington, DC: The National Academies Press.  
<https://doi.org/10.17226/9791>.

**Piaggio, L.; Quintans, G.; San Julian, R.; Ferreira, G.; Ithurralde, J.; Fierro, S.; Pereira, A.S.C.; Baldi, F.; Banchemo, G.E.** 2017. Growth, meat and feed efficiency traits of lambs born to ewes submitted to energy restriction during mid-gestation. *Animal*, 12(2): 256-264. doi:10.1017/S1751731117001550

**Quigley, S.P.; Kleemann, D.O.; Walker, S.K.; Speck, P.A.; Rudiger, S.R.; Natrass, G.S.; DeBlasio, M.J.; Owens, J.A.** 2008. Effect of variable long-term maternal feed allowance on the development of the ovine placenta and fetus. *Placenta*, 29(6): 539-548.  
<https://doi.org/10.1016/j.placenta.2008.02.014>

**Quintans, G.; Velazco, J.I.; Scarsi, A.; López-Mazz, C.; Banchemo, G.** 2012. Effect of nutritional management during the postpartum period of primiparous autumn-calving cows on dam and calf performance under range conditions. *Livestock Science*, 144(1-2): 103-109. doi:10.1016/j.livsci.2011.11.003

**Quintans, G.; Banchemo, G.; López-Mazz, C.; Carriquiry, M.; Baldi, F.** 2010. Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Animal Production Science* 50(10) : 931-938.  
<https://doi.org/10.1071/AN10021>

**Quintans, G.; Velazco, J.I.; Roig, G.** 2008. Seminario de actualización técnica, cría vacuna Servicio de vaquillonas en otoño a los 20 meses de edad (resultados preliminares). INIA Treinta y Tres. pp. 90. (Serie Técnica nº 174).

**Reyes, R.B.; Carrocera, L.A.F.** 2015. Programación metabólica fetal. *Perinatología y Reproducción Humana*, 29(3): 99-105.  
<https://doi.org/10.1016/j.rprh.2015.12.003>

**Riley, D.G.; Chase, C.C.; Olson, T.A.; Coleman, S.W., Hammond, A.C.** 2004. Genetic and nongenetic influences on vigor at birth and preweaning mortality of purebred and high percentage Brahman calves. *Journal of Animal Science*, 82(6): 1581-1588.  
<https://doi.org/10.2527/2004.8261581x>

**Scarsi, A.; Quintans, G.** 2013. Seminario de actualización técnica, cría vacuna Manejo nutricional antes del parto en vacas multíparas, Enfoques de una nueva línea de investigación. INIA Treinta y Tres, pp. 135 (Serie Técnica Nº 208).

**Schoonmaker, J.** 2013. Effect of Maternal Nutrition on Calf Health and Growth. *WCDS Advances in Dairy Technology*, 26, 125-135. "https://www.researchgate.net/publication/281600551\_Effect\_of\_maternal\_nutrition\_on\_calf\_health\_and\_growth"

**Short, R.E.; Bellows, R.A.; Staigmiller, R.B.; Berardinelli, J.G.; Custep, E.E.** 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*, 68(3): 799-816.  
<https://doi.org/10.2527/1990.683799x>

**Simeone, A.; Beretta, V.; Rowe, J.; Nolan, J.; Elizalde JC.; Baldi, F.** 2004. Rumen fermentation in Hereford steers grazing rygrass and supplemented with whole or ground maize. *Animal Production in Australia*, 1(1): 168-171.



- Simeone, A.; Beretta, V.; Rowe, J.; Nolan, J.; Elizalde J.C.** 2002. Getting cattle to grow faster on lush autumn pastures. *Animal Production in Australia*, 24: 213–216.
- Vizcarra J.A.; Ibáñez, W.; Orcasberro, R.** 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. INIA Las Brujas, pp. 45-47 (Investigaciones Agronómicas n°7).
- Vonnahme, K.A.; Lemley, C.** 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(1): 97–104. <https://doi.org/10.1071/RD11910>
- Vonnahme, K.A.; Zhu, M.J.; Borowicz, P.P.; Geary, T.W.; Hess, B.W.; Reynolds, L.P.; Caton, J.S.; Means, W.J; Ford, S.P.** 2007. Effect of early gestational undernutrition on angiogenic factor expression and vascularity in the bovine placentome. *Journal of Animal Science*, 85(10): 2464–2472. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-805>
- Wiltbank, J.N.; Remmenga, E.E.** 1982. Calving difficulty and calf survival in beef cows fed two energy levels. *Theriogenology*, 17(6): 587–602. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(82\)90057-7](https://doi.org/10.1016/0093-691X(82)90057-7)
- Zhu MJ.; Du, M.; Hess, B.W.; Means, W.J.; Nathanielsz, P.W.; Ford. S.P.** 2007. Maternal nutrient restriction upregulates growth signaling pathways in the cotyledonary artery of cow placentomes. *Placenta*, 28(4): 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2006.04.005>



# 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. Maresca<sup>1</sup>, S. López Valiente<sup>1</sup>, A.M Rodríguez<sup>1</sup>, L.M. Testa<sup>2</sup>, N.M. Long<sup>3</sup>, G. Quintans<sup>4</sup>, E. Pavan<sup>2,3,5</sup>

## 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  $134 \pm 14$  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  $219 \pm 13$  días de edad, los terneros se criaron en pasturas naturales hasta  $687 \pm 13$  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  $134 \pm 14$  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  $219 \pm 13$  days of age, calves were managed on native pastures up to  $687 \pm 13$  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

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Cuenca del Salado, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Balcarce, Argentina.

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

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

<sup>5</sup> 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  $134 \pm 14$  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  $219 \pm 13$  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  $687 \pm 13$  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	%
<b>Ingrediente, % de MS</b>	
Maíz entero	75
Silaje de maíz	10
Suplemento proteico	15
<b>Composición de la dieta (%)</b>	
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 <sup>3</sup> , cm	0,20 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,96
GD final <sup>3</sup> , cm	0,33 ± 0,02	0,36 ± 0,03	0,38
AOB inicial <sup>3</sup> , cm <sup>2</sup>	39,3 ± 1,2	39,4 ± 1,5	0,95
AOB final <sup>3</sup> , cm <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup> , cm	0,75 ± 0,05	0,75 ± 0,06	0,97
AOB final <sup>3</sup> , cm <sup>2</sup>	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 musculogénesis 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 ( $\mu\text{m}$ )	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 ( $\mu\text{m}$ )	43,1 $\pm$ 2,1	38,9 $\pm$ 2,3	0,19
Número total de fibras	4,77x10 <sup>6</sup> $\pm$ 0,38 x10 <sup>6</sup>	6,22x10 <sup>6</sup> $\pm$ 0,49 x10 <sup>6</sup>	0,03

Los bifos 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, $\mu\text{m}$	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., Rodriguez-Zas, S., Felix, T. L., Shike, D. W.** 2015. Beef cow parturition 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 *Semitenidosus* 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>

# EFFECTOS DE LA ALIMENTACIÓN MATERNA DURANTE EL PRIMER TERCIO DE GESTACIÓN SOBRE LOS RENDIMIENTOS DEL CONJUNTO VACA-TERNERO

A. Sanz<sup>1</sup>, I. Casasús<sup>1</sup>, J. Ferrer<sup>1</sup>, D. Villalba<sup>2</sup>, A. Noya<sup>1</sup>

## RESUMEN

En este ensayo se estudiaron los efectos de la subnutrición de las vacas nodrizas durante la gestación temprana sobre su productividad a corto, medio y largo plazo. Para ello, se utilizaron 115 vacas (razas Parda de Montaña y Pirenaica), que fueron sometidas a un protocolo de sincronización de celos e inseminación a tiempo fijo 11 días después ( $76 \pm 14$  días postparto). Durante el primer tercio de gestación, las vacas recibieron una dieta para cubrir el 100% (CONTROL) o el 65% (SUBNUT) de sus necesidades energéticas; el resto de la gestación y durante la lactación siguiente todas las vacas recibieron una dieta que cubrió el 100% de sus necesidades. La subnutrición materna impuesta no afectó a la fertilidad (77,4%), sin embargo, las vacas subnutridas perdieron peso vivo y reservas corporales durante el primer tercio de gestación. La subnutrición materna también provocó menores crecimientos en los terneros que estaban criando simultáneamente a la subnutrición. Seis meses después de finalizar el tratamiento de alimentación materna, las vacas subnutridas tuvieron menor condición corporal al parto, que a su vez repercutió en la mayoría de parámetros analizados en las vacas y su descendencia. Todas las vacas perdieron peso durante la siguiente lactación, excepto las Pirenaicas subnutridas, que mantuvieron su peso; por el contrario, sus terneros tuvieron los menores crecimientos, el menor peso a destete (21% menos) y los valores más bajos de IGF-1 (muy relacionada con el desarrollo animal). Este ensayo confirmó que la subnutrición materna temprana tiene repercusiones a corto, medio y

largo plazo sobre las vacas, sobre los terneros criados y sobre la descendencia gestada durante dicha subnutrición.

**Palabras clave:** subnutrición materna, progeñe.

## ABSTRACT

In the present work, the effects of undernutrition of beef cows during early pregnancy on their productivity in the short, medium and long term were studied. Thus, 115 cows (Brown Mountain and Pyrenean breeds) were used and they were oestrous synchronized, and then managed with a protocol of fixed time artificial insemination 11 days later ( $76 \pm 14$  days postpartum). During the first third of pregnancy, cows received a diet 100% (CONTROL) or 65% (SUBNUT) of their energy requirements; the rest of the pregnancy period and during the following lactation all cows received a diet that supply 100% their requirements. The imposed maternal undernutrition did not affect fertility (77.4%); however, undernourished cows lost live weight and body reserves during the first third of gestation. Maternal undernutrition also caused lower growth in calves that were simultaneously raising undernourishment. Six months after the end of the maternal feeding treatment, the undernourished cows had a lower body condition at calving, which affected the majority of parameters analyzed in the cows and their offspring. All cows lost weight during the following lactation, except for the undernourished Pyrenees, who maintained their live weight; on the contrary, their calves had the lowest growth, the lowest

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA) de Aragón. Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Zaragoza, España.

<sup>2</sup> Universitat de Lleida (UdL). Dpto. Ciencia Animal, Lleida, España.

weaning weight (21% less) and the lowest IGF-1 values (closely related to animal development). This experiment confirmed that early maternal undernutrition has short, medium and long-term effects on cows, on calves raised and on offspring gestated during such undernutrition.

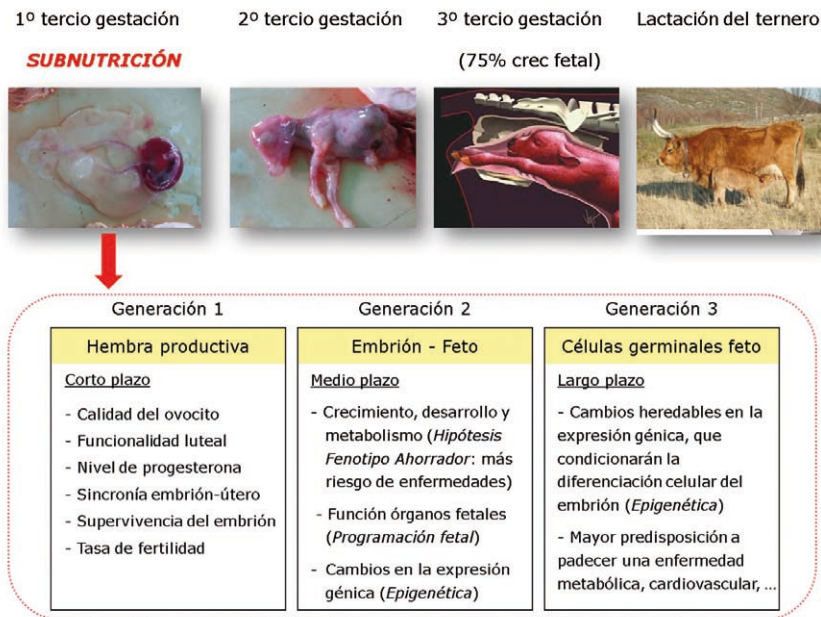
## INTRODUCCIÓN

La adaptación de las explotaciones de vacunos para carne a condiciones cada vez más extensivas ha conseguido reducir los costos productivos, pero a costa de someter a los animales a periodos de subnutrición que pueden tener repercusiones importantes sobre los rendimientos finales del conjunto vaca-ternero. El CITA de Aragón mantiene una línea de investigación centrada en mejorar la eficiencia productiva de las explotaciones de vacas nodrizas, a través del desarrollo de estrategias de manejo a nivel del rebaño y del animal, adaptadas a los recursos disponibles. Nuestro equipo ha estudiado en profundidad los efectos de la subnutrición en el último tercio de gestación y/o durante la lactación sobre la función productiva y reproductiva de las vacas nodrizas (Sanz *et al.*, 2004), estableciendo el papel de diversas hormonas y metabolitos y el comportamiento materno-filial en los mecanismos específicos que modulan la reproducción (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2009, 2010). Estos estudios han demostrado la importancia de alimentar bien a las vacas nodrizas al final de la gestación, reflejado en una condición corporal

(CC) adecuada al parto, para alcanzar el objetivo productivo de un ternero por vaca y año. Una alimentación deficiente durante el último tercio de gestación retrasa la reactivación ovárica postparto de las vacas, reduce el crecimiento del ternero en lactación, y en situaciones de subnutrición severa puede llegar a reducir el peso de la cría al nacer (Sanz *et al.*, 2001).

Menos conocido es el efecto que puede tener la alimentación que recibe la vaca nodriza en el primer tercio de gestación, dado que el 75% del crecimiento fetal se da en los dos últimos meses de gestación. Sin embargo, en esta fase se dan las primeras etapas del desarrollo embrionario y fetal, que pueden ser determinantes para la vida adulta. Esta etapa crítica de la gestación coincide con la enorme demanda metabólica que supone la crianza del ternero, y por tanto los nutrientes deberán repartirse entre la producción de leche para el ternero que la vaca nodriza está criando y el desarrollo del embrión/feto/placenta para la nueva gestación. Una subnutrición durante este periodo obligará al feto a adaptarse a un ambiente uterino de restricción alimenticia, induciendo cambios en la programación fetal. La hipótesis del fenotipo ahorrador (Barker *et al.*, 1989) sugiere que las influencias ambientales tempranas en la vida fetal se reflejarán en alteraciones del crecimiento, del desarrollo y del metabolismo, que darán lugar a mayor riesgo de enfermedades en la vida adulta (Figura 1).





**Figura 1.** Posibles repercusiones de la subnutrición de la vaca durante el primer tercio de gestación.

Nuestro equipo ha desarrollado un amplio proyecto de investigación con el objetivo principal de conocer las repercusiones que puede tener la alimentación de la madre durante la gestación temprana sobre la eficiencia productiva del conjunto vaca-ternero, a corto, medio y largo plazo. A partir de esta información, idealmente se podrán recomendar las dietas más adecuadas para maximizar el potencial genético de un animal mantenido en un sistema extensivo. El objetivo del trabajo que se muestra a continuación fue evaluar el efecto de la subnutrición durante el primer tercio de gestación sobre los rendimientos de: 1) la madre, 2) el ternero criado durante la gestación temprana y 3) el futuro ternero durante sus primeros 120 días de vida.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el ensayo se utilizaron 115 vacas multíparas de las razas autóctonas Parda de Montaña (PA) y Pirenaica (PI) criando un ternero mediante un régimen de doble amantamiento (dos periodos diarios de acceso a la madre de 30 minutos cada uno). En diciembre de 2014 (inicio del ensayo), las vacas se sometieron a un protocolo de sincroniza-

ción de celos mediante una combinación de progestágenos (espiral intravaginal: PRID; CEVA, España), GnRH (Busol; INVESA, España), prostaglandina F2α (Enzaprost, CEVA, España) y PMSG (Foligón, Intervet, España), para proceder 11 días más tarde a realizar la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF; 76 ± 14 días postparto). A continuación, las vacas se alimentaron con una mezcla unifeed seca (10,96 MJ EM/kg MS y 124 g PB/kg MS), distribuidas en dos lotes homogéneos (por fecha de parto, CC al parto y a la IATF, y por edad), en función de la alimentación recibida durante los primeros 82 días de gestación. El grupo control (CONTROL) recibió una dieta que cubría el 100% de sus necesidades de mantenimiento, gestación y lactación (10,9 y 10,0 kg MS/animal/día para PA y PI respectivamente), y el grupo subnutrido (SUBNUT) recibió una dieta para cubrir el 65% de sus necesidades (7,0 y 6,4 kg MS/animal/día para PA y PI respectivamente). Durante el resto de la gestación y durante la lactación siguiente, las vacas recibieron una dieta que cubría el 100% de sus necesidades. A los 37 días de la inseminación se realizó el diagnóstico de gestación (ecógrafo Aloka SSD-500V (Aloka, Japón), sonda transrectal de 7,5 MHz de frecuencia).

A lo largo del ensayo, las vacas se pesaron quincenalmente y los terneros de manera mensual (tanto los criados durante la gestación temprana como los nacidos en la siguiente lactación), para estimar su ganancia media diaria (GMD) a lo largo de los 120 días de lactación. Una vez al mes se registraba la condición corporal (CC) de las vacas (escala de 1 a 5; Lowman *et al.*, 1976).

Para determinar los posibles efectos de la subnutrición en la gestación temprana sobre la producción de leche en el parto siguiente, el día 23 posparto se estimó la producción lechera mediante ordeño mecánico de las vacas, estimulando la eyección de leche con oxitocina (Le Du *et al.*, 1979). Se recogieron muestras de leche para determinar su porcentaje de grasa y proteína mediante espectroscopía (Milkoscan 4000TM; Fosslectric Ltd., Hillerod, Dinamarca). También se estimó la cantidad de leche ingerida por los terneros mediante la técnica de la doble pesada (Rodrigues *et al.*, 2014) el día 25 posparto.

Se tomaron muestras mensuales de sangre de los terneros gestados durante la subnutrición materna para determinar la concentración plasmática del factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF-1), mediante un ELISA con detección quimioluminiscente (Immulite, Siemens Medical Solutions Diagnostics Ltd., Llanberis, Reino Unido). Al finalizar la lactación se midió la alzada a la cruz y el perímetro torácico de los terneros para evaluar su crecimiento corporal.

Para determinar la duración del anestro posparto de las vacas se tomaron 2 muestras

semanales de sangre, en las que se analizó la concentración plasmática de progesterona mediante ensayo de inmunoenlace (ELISA específico para bovino, Ridgeway Science, Reino Unido). Se consideró que una vaca estaba cíclica cuando su nivel de progesterona en plasma era  $\geq 1,0$  ng/mL (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2009).

Los resultados se analizaron con el programa SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE.UU.) mediante un análisis de varianza con un modelo lineal generalizado. Para analizar los parámetros recogidos durante el primer tercio de gestación, el modelo incluyó la alimentación materna (CONTROL vs. SUBNUT), la raza (PA vs. PI), el estado de preñez (PREÑADA vs. VACÍA) y sus interacciones como efectos fijos. El estado de preñez se contrastó con la alimentación materna y la raza mediante un estadístico Chi-cuadrado. En el caso de los parámetros analizados durante la siguiente lactación, el modelo incluyó la alimentación materna, la raza y su interacción como efectos fijos, y la CC de las vacas al parto como covariable. La significación de los resultados se estableció con un P-valor  $< 0,05$ . Los valores están expresados como las medias de mínimos cuadrados. Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité Ético de Experimentación Animal del CITA (Ref. 2014-16).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1 se muestra la evolución de los pesos de las vacas y los terneros criados durante el tratamiento nutritivo (primeros 82 días de gestación), y las reservas corporales de las vacas nodrizas.

**Cuadro 1.** Rendimientos de las vacas durante el primer tercio de gestación, y de los terneros que estaban criando, en función del tipo de alimentación materna y de la raza (Noya *et al.*, 2017).

	Alimentación		Raza		Raíz MSE	Significación	
	CONTROL	SUBNUT	PA	PI		Alimentación	Raza
<b>Vacas</b>							
PV día 0 (kg)	568	567	558	577	54,6	n.s.	n.s.
PV día 82 (kg)	569	548	552	565	55,7	n.s.	n.s.
GMD (kg/d)	0,116 <sup>a</sup>	0,359 <sup>b</sup>	-0,133	-0,110	0,2	<0,001	n.s.
CC día 0	2,78	2,86	2,72 <sup>b</sup>	2,92 <sup>a</sup>	0,3	n.s.	<0,001
CC día 82	2,88 <sup>a</sup>	2,67 <sup>b</sup>	2,67 <sup>b</sup>	2,88 <sup>a</sup>	0,3	<0,001	<0,001
<b>Terneros</b>							
PV día 0 (kg)	100	100	108 <sup>a</sup>	93 <sup>b</sup>	17,2	n.s.	<0,001
PV día 82 (kg)	154 <sup>a</sup>	144 <sup>b</sup>	159 <sup>a</sup>	139 <sup>b</sup>	24,2	<0,05	<0,001
GMD (kg/d)	0,623 <sup>a</sup>	0,496 <sup>b</sup>	0,592 <sup>a</sup>	0,528 <sup>b</sup>	0,1	<0,001	<0,01

n.s.: no significativo; a,b: diferencias entre medias  $P < 0,05$

CONTROL: animales alimentados durante el primer tercio de gestación con el 100% de sus necesidades energéticas; SUBNUT: animales alimentados con el 65% de sus necesidades energéticas; PA: Parda de Montaña; PI: Pirenaica; MSE: error cuadrático medio; PV: peso vivo; CC: condición corporal; GMD: ganancia media diaria

El día 0 (IA, inicio del ensayo) los grupos de vacas estaban equilibrados en fecha del parto anterior y en PV. Ni el tipo de alimentación (71,4 vs. 82,4%, para CONTROL y SUBNUT,  $P > 0,05$ ), ni la raza (73,3 vs. 85,0%, para PA y PI;  $P > 0,05$ ) afectaron a la fertilidad de las vacas nodrizas (Noya *et al.*, 2017). La tasa de preñez obtenida en el ensayo (77%) fue elevada, si se compara con las tasas medias de preñez que se obtienen con este tipo de protocolos de sincronización de celos e IATF (Sanz *et al.*, 2019). Esta alta fertilidad podría deberse a que en el momento de la IATF las vacas tenían una CC adecuada para responder al tratamiento de sincronización y mantener las primeras etapas de la gestación.

Durante el primer tercio de gestación, no se observaron diferencias en el PV, CC o GMD de las vacas asociadas al estado de preñez ( $P > 0,05$ ). Sin embargo, las vacas subnutridas sufrieron una caída en su PV, CC y GMD, así como en el crecimiento de los terneros que estaban criando, debido probablemente a una caída en su producción lechera (Cortés-Lacruz *et al.*, 2017). Respecto a la raza, las vacas PI presentaron mayor CC

que las PA tanto al día 0 como a día 82, siendo los terneros PA más pesados que los PI (al día 0 y al día 82). Además, se observó una interacción significativa entre la raza y el tipo de alimentación que recibió la madre, de manera que los terneros criados por las vacas SUBNUT-PI tuvieron los crecimientos más bajos del estudio (0,628, 0,555, 0,618 y 0,437 kg/d en CONTROL-PA, SUBNUT-PA, CONTROL-PI y SUBNUT-PI,  $P < 0,05$ ).

Con relación a los resultados obtenidos en el parto siguiente de las vacas nodrizas (Cuadro 2), la subnutrición impuesta durante el primer tercio de gestación no afectó al PV de las vacas en el momento del parto. Sin embargo, las vacas del grupo CONTROL tuvieron mayor CC al parto que las del grupo SUBNUT. A su vez, las vacas de raza Pirenaica presentaron mayor CC al parto que las vacas Pardas. En relación con la evolución del peso de las vacas, se observó una interacción significativa entre la alimentación recibida durante el primer tercio de gestación y la raza, mostrando todas las vacas pérdidas de peso durante la lactación, excepto el grupo SUBNUT-PI que lo mantuvo. La pro-

ducción de leche de las vacas nodrizas no se vio afectada por el tipo de alimentación recibida durante la gestación temprana, pero sí por la raza, ya que las PA presentaron una mayor producción lechera, en línea con estudios previos realizados en las mismas razas (Casasús *et al.*, 2004). El contenido en grasa de la leche fue mayor en las vacas SUBNUT que en las vacas CONTROL, y también fue mayor en las vacas PI que en las PA. Es probable que la mayor movilización de ácidos grasos en el grupo SUBNUT favoreciera su

captación en la glándula mamaria, incrementando el porcentaje de grasa de la leche, en línea con los resultados obtenidos por Pulina *et al.* (2006). La tasa de proteína de la leche no difirió entre los distintos tratamientos. La duración del anestro postparto no se vio afectada por la alimentación materna, pero sí por la raza, ya que las vacas PI reiniciaron su actividad ovárica antes que las PA, debido probablemente a su mayor CC en el momento del parto (Sanz *et al.*, 2004).

La alimentación materna recibida durante

**Cuadro 2.** Rendimientos de las vacas y de los terneros durante la siguiente lactación, en función del tipo de alimentación materna, de la raza, o de su interacción cuando fue significativa (Modificado de Noya *et al.*, 2019b).

	Alimentación		Raza		Raíz MSE	Significación		
	CONTROL	SUBNUT	PA	PI		Alim.	Raza	CCp
<b>Vacas</b>								
PV al parto (kg)	605	592	598	599	54,4	n.s.	n.s.	-
CC parto	2,8 <sup>a</sup>	2,7 <sup>b</sup>	2,7 <sup>b</sup>	2,9 <sup>a</sup>	0,2	<0,05	<0,001	-
Producción leche día 23 (kg/d)	9,5	8,7	9,9 <sup>a</sup>	8,3 <sup>b</sup>	2,1	n.s.	<0,01	<0,05
Grasa (%)	4,4 <sup>b</sup>	4,8 <sup>a</sup>	4,2 <sup>b</sup>	4,9 <sup>a</sup>	0,6	<0,01	<0,001	<0,05
Proteína (%)	3,6	3,7	3,6	3,7	0,3	n.s.	n.s.	<0,05
Duración APP (d)	40	46	49 <sup>a</sup>	38 <sup>b</sup>	0,2	n.s.	<0,05	<0,001
<b>Terneros</b>								
PV al nacimiento (kg)	42	42	45 <sup>a</sup>	39 <sup>b</sup>	6,2	n.s.	<0,001	<0,05
Ingesta de leche día 25 (kg/d)	8,8 <sup>a</sup>	7,8 <sup>b</sup>	9,2 <sup>a</sup>	7,4 <sup>b</sup>	1,5	<0,05	<0,001	<0,05
Alzada a la cruz día 120 (cm)	94 <sup>a</sup>	93 <sup>b</sup>	95 <sup>a</sup>	92 <sup>b</sup>	3,2	<0,05	<0,001	n.s.
Perímetro torácico día 120 (cm)	119 <sup>a</sup>	115 <sup>b</sup>	118 <sup>a</sup>	115 <sup>b</sup>	5,5	<0,01	<0,05	<0,01
Interacción de Alimentación x Raza en:								
	CONTROL-PA	SUBNUT-PA	CONTROL-PI	SUBNUT-PI		P valor		
GMD vacas (kg/d)	-0,151 <sup>b</sup>	-0,188 <sup>b</sup>	-0,179 <sup>b</sup>	-0,004 <sup>a</sup>		<0,05		
GMD terneros (kg/d)	0,807 <sup>a</sup>	0,792 <sup>a</sup>	0,860 <sup>a</sup>	0,672 <sup>b</sup>		<0,05		
PV Destete terneros (kg)	149 <sup>a</sup>	146 <sup>a</sup>	155 <sup>a</sup>	126 <sup>b</sup>		<0,001		

n.s.: no significativo; a,b: diferencias entre medias  $P < 0,05$

CONTROL: animales alimentados durante el primer tercio de gestación con el 100% de sus necesidades energéticas; SUBNUT: animales alimentados con el 65% de sus necesidades energéticas; PA: Parda de Montaña; PI: Pirenaica; MSE: error cuadrático medio; PV: peso vivo; CCp: condición corporal al parto; GMD: ganancia media diaria; APP: anestro posparto

la gestación temprana no afectó al PV de los terneros al nacimiento (Cuadro 2). Sí lo hizo la raza, siendo los terneros PA más pesados al nacimiento que los PI, resultados similares a los obtenidos en estudios previos (Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2018). Al igual que sucedió en las madres, la GMD de los terneros durante la lactación se vio afectada por la interacción alimentación materna x raza, siendo los terneros SUBNUT-PI los que tuvieron menores crecimientos y menor peso al destete a 120 días (21% inferior). Al final de la lactación, los terneros SUBNUT y los terneros PI mostraron un menor desarrollo corporal, con menor alzada a la cruz y perímetro torácico que sus homólogos. Este peor desarrollo pudo deberse en parte a la menor ingesta de leche (registrada el día 25 de lactación) en los terneros SUBNUT y en los terneros PI; y también a un efecto negativo ligado a alteraciones en la programación fetal a causa de un ambiente intrauterino restrictivo (Noya *et al.*, enviado). Es probable que estos terneros, con “fenotipo ahorrativo”, posteriormente expuestos a un ambiente no restrictivo de alimentos hayan sufrido desórdenes metabólicos y un retraso en su crecimiento y desarrollo postnatal.

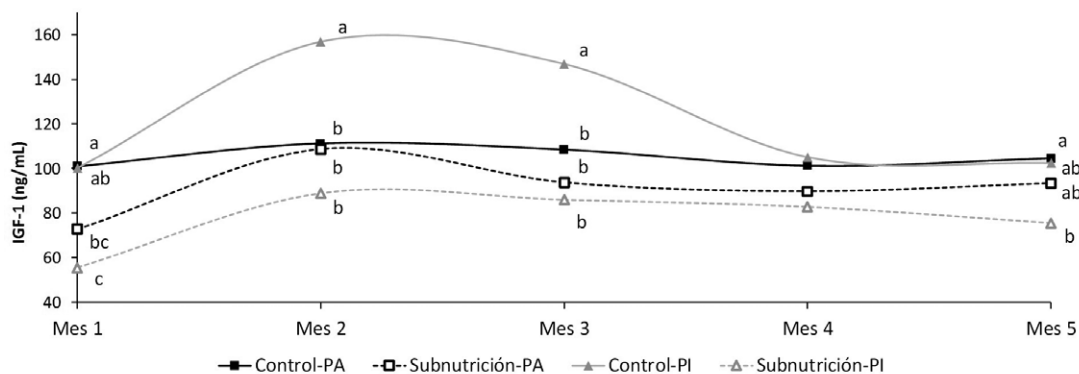
La estimación de la producción de leche de las vacas por el método de la doble pesada del ternero tuvo una correlación moderada con la producción lechera obtenida mediante ordeño mecánico ( $r = 0,47$ ;  $P = 0,001$ ).

La CC de las vacas al parto estuvo condicionada por la alimentación recibida 6-9 meses antes y afectó a todos los parámetros analizados en el estudio tanto en las madres como en la descendencia, excepto a la GMD de las vacas y la alzada a la cruz de los terneros, destacando el papel a largo plazo de

la alimentación materna en el periodo peri-implantacional tanto sobre las madres como sobre la descendencia, en línea con lo descrito por Fleming *et al.* (2012).

En la figura 2 se muestra la evolución creciente de los valores plasmáticos de IGF-1 de los terneros a lo largo de la lactación, y la interacción observada entre el tipo de alimentación materna y la raza ( $P < 0,05$ ). Mientras que no hubo diferencias entre los subgrupos de los terneros PA, los terneros CONTROL-PI presentaron mayor concentración plasmática de IGF-1 que los terneros SUBNUT-PI ( $P < 0,001$ ), al igual que sucedió con los crecimientos de los terneros. Otros trabajos previos también han relacionado de forma positiva los niveles plasmáticos de IGF-1 con el crecimiento y desarrollo de los terneros (Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2018). El sistema de regulación fisiológica de la IGF-1 en los terneros SUBNUT-PI podría haberse alterado a consecuencia de una reprogramación fetal para hacer frente a la subnutrición gestacional, en línea con la teoría propuesta por Gallaher *et al.* (1998). Esta mayor sensibilidad de la raza Pirenaica a la subnutrición materna temprana también se ha detectado al estudiar otros aspectos como el reconocimiento de la gestación (aumentando el riesgo de pérdidas embrionarias durante las primeras semanas de gestación; Serrano *et al.*, enviado); diversos parámetros eritrocitarios, leucocitarios y plaquetarios de las vacas; la vitalidad al nacimiento y los niveles de cortisol de los terneros que han sufrido un ambiente de subnutrición fetal (Noya *et al.*, 2019a); y la transferencia de inmunidad de la vaca al ternero a través del calostro (Ig G y M) (Noya *et al.*, 2018).

A la vista de los resultados anteriores podemos concluir que la subnutrición materna su-



**Figura 2.** Concentración plasmática de IGF-1 en terneros durante la lactación, en función del tipo de alimentación materna y la raza (Noya *et al.*, 2019b).

frida durante el primer tercio de gestación en vacas nodrizas tuvo repercusiones negativas a corto, medio y largo plazo sobre los rendimientos productivos de las vacas, sobre el crecimiento de los terneros criados durante la gestación temprana y sobre el crecimiento y desarrollo postnatal de los terneros expuestos a un ambiente de subnutrición fetal. La subnutrición materna también se reflejó en una menor CC de las vacas al parto, que indirectamente afectó a prácticamente todos los parámetros estudiados tanto en la vaca nodriza como en su descendencia. El ensayo puso de manifiesto una mayor sensibilidad de la raza Pirenaica a la subnutrición materna temprana, mostrando los terneros Pirenaicos nacidos de madres subnutridas los menores crecimientos y pesos a destete a 120 días. Será necesario evaluar en el futuro los posibles efectos residuales de la alimentación materna sobre la eficiencia de

los terneros destinados a invernada y de las terneras criadas para reemplazo.

Del estudio se desprende la necesidad de que los ganaderos garanticen una adecuada alimentación de las vacas preñadas que a su vez estén criando un ternero, introduciendo si es necesario cambios sustanciales en el manejo de sus explotaciones, para mejorar los actuales índices productivos y reproductivos de las vacas nodrizas.

## AGRADECIMIENTOS

Al personal técnico del CITA de Aragón. Financiación procedente del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria de España (INIA RTA2013-059; INIA RZP 2010-02; Contrato FPI-INIA de A. Noya) y del Gobierno de Aragón (Grupo de investigación A14\_17R).

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Rodríguez, J.; Palacio, J.; Sanz, A.** 2010. Effects of nursing frequency and parity on the metabolic and reproductive function of beef cows. *Livestock Science*, 129(1-3):111-121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.01.013>
- Álvarez-Rodríguez, J.; Sanz, A.** 2009. Physiological and behavioural responses of cows from two breeds submitted to different suckling strategies. *Applied Animal Behaviour Science*, 120(1-2):39-48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.05.004>
- Barker, D.J.; Osmond, C.; Golding, J.; Kuh, D.; Wadsworth, M.E.** 1989. Growth in utero, blood pressure in childhood and adult life, and mortality from cardiovascular disease. *British Medical Journal*, 298 (6673):564-567. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.298.6673.564>
- Casasús, I.; Sanz, A.; Villalba, D.; Ferrer, R.; Revilla, R.** 2004. Intake capacity of two breeds of suckler cattle of different milk yield potential and validation of prediction models. *Livestock Production Science*, 89(2-3):195-207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.02.003>
- Cortés-Lacruz, X.; Casasús, I.; Revilla, R.; Sanz, A.; Blanco, M.; Villalba, D.** 2017. The milk yield of dams and its relation to direct and maternal genetic components of weaning weight in beef cattle. *Livestock Science*, 202:143-149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.025>
- Fleming, T.; Velazquez, M.; Eckert, J.; Lucas, E.; Watkins, A.** 2012. Nutrition of females during the peri-conceptual period and effects on foetal programming and health of offspring. *Animal Reproduction Science*, 130:193-197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.015>
- Gallagher, B.; Breier, B.; Keven, C.; Harding, J.; Gluckman, P.** 1998. Fetal programming of insulin-like growth factor (IGF)-I and IGF-binding protein-3: Evidence for an altered response to undernutrition in late gestation following exposure to periconceptual undernutrition in the sheep. *Journal of Endocrinology*, 159:501-508. doi:10.1677/joe.0.1590501.
- Le Du, Y.; Macdonald, A.; Peart, J.** 1979. Comparison of two techniques for estimating the milk production of suckler cows. *Livestock Production Science*, 6(3):277-281. doi: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(79\)90045-9](https://doi.org/10.1016/0301-6226(79)90045-9)
- Lowman, B.G.; Scott, N.A.; Somerville, S.H.** 1976. Condition scoring cattle. Rev. Ed. Edinburgh: East of Scotland College of Agriculture. pp.1-31. (Bulletin no. 6).
- Noya, A.; Casasús, I.; Alabart, J.L.; Serrano-Pérez, B.; Villalba, D.; Rodríguez-Sánchez, J.A.; Ferrer, J.; Sanz, A.** 2018. Passive transfer of dam immunoglobulins to calf in two beef breeds undernourished in early pregnancy. In: Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (69th 2018, Dubrovnik, Croatia), Book of abstracts. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers. pp. 111.
- Noya, A.; Casasús, I.; Ferrer, J.; Rodríguez-Sánchez, J.A.; Villalba, D.; Sanz, A.** 2017. Efecto de la raza y de la subnutrición durante el primer tercio de gestación sobre los parámetros productivos y reproductivos de las vacas nodrizas. In: Congreso Internacional ANEMBE de Medicina Bovina (22nd, 2017, Pamplona, España).
- Noya, A.; Casasús, I.; Ferrer, J.; Sanz, A.** 2019. Long-term effects of maternal subnutrition in early pregnancy on cow-calf performance, immunological and physiological profiles. *Animals* (621549, Major revisión 16.10.2019 - In Press).

**Noya, A.; Casasús, I.; Ferrer, J.; Sanz, A.** 2019b. La subnutrición durante el primer tercio de gestación de las vacas disminuye los rendimientos de la descendencia en la lactación. Jornadas sobre producción animal (18va., Zaragoza, España). Actas. Zaragoza, AIDA. pp. 326-328.

**Noya, A.; Serrano-Pérez, B.; Villalba, D.; Casasús, I.; Molina, E.; López-Helguera, I.; Sanz, A.** 2019a. Effects of Maternal Subnutrition during Early Pregnancy on Cow Hematological Profiles and Offspring Physiology and Vitality in Two Beef Breeds. *Animal Science Journal*, 90(7):857-869. doi: <https://doi.org/10.1111/asj.13215>

**Pulina, G.; Nudda, A.; Battacone, G.; Cannas, A.** 2006. Effects of nutrition on the contents of fat, protein, somatic cells, aromatic compounds, and undesirable substances in sheep milk. *Animal Feed Science and Technology*, 131(3-4):255-291. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.05.023>

**Rodrigues, P.F.; Menezes, L.M.; Azambuja, R.C.C.; Suñé, R.W.; Barbosa Silveira, I.D.; Cardoso, F.F.** 2014. Milk yield and composition from Angus and Angus-cross beef cows raised in southern Brazil. *Journal of Animal Science*, 92(6):2668-2676. Doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7055>

**Rodríguez-Sánchez, J.A.; Sanz, A.; Ferrer, J.; Casasús, I.** 2018. Influence of postweaning feeding management of beef heifers on performance and physiological profiles through rearing and first lactation. *Domestic animal endocrinology*, 65:24-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2018.05.001>

**Sanz, A.; Casasús, I.; Bernués, A.; Revilla, R.** 2001. Reinicio de la actividad folicular en vacas nodrizas sometidas a diferentes niveles de alimentación antes y después del parto. XVIII Jornadas sobre producción animal AIDA. Revista ITEA, Vol. extra 22:727-729. [http://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/2001/comunicaciones/2001\\_Rep\\_05.pdf](http://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/2001/comunicaciones/2001_Rep_05.pdf)

**Sanz A., Macmillan K., Colazo M.G.** 2019. Revisión de los programas de sincronización ovárica basados en el uso de hormona liberadora de gonadotropinas y prostaglandina F2α para novillas de leche y de carne. *Revista ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 115 (3), 16 págs. doi:10.12706/itea.2019.002.

**Sanz, A.; Bernués, A.; Villalba, D.; Casasús, I.; Revilla, R.** 2004. Influence of management and nutrition on postpartum interval in Brown Swiss and Pirenaica cows. *Livestock Production Science*, 86(1-3):179-191. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00165-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00165-9)

**Serrano-Pérez, B.; Molina, E.; Noya, A.; López-Helguera, I.; Casasús, I.; Sanz, A.; Villalba, D.** 2019. Maternal nutrient restriction in early pregnancy increases the risk of late embryo loss despite no effects on embryo signalling in suckler beef cattle. *Research in Veterinary Science (RVSC\_2019\_661, Major revision 10.9.2019 – In Press).*



## **CAPÍTULO II**

# **EFFECTO DE LA RESTRICCIÓN NUTRICIONAL DURANTE LA GESTACIÓN SOBRE LA PROGENIE EN OVINOS**



# REALIMENTAR LAS OVEJAS *AD LIBITUM* LUEGO DE UNA RESTRICCIÓN ENERGÉTICA DURANTE LA MITAD DE LA GESTACIÓN NO AFECTÓ EL DESEMPEÑO ANIMAL, EL INICIO DE PUBERTAD NI LA TASA OVULATORIA DE LAS CORDERAS

G. Banchemo<sup>1</sup>, F. Baldi<sup>2</sup>, D. González<sup>1</sup>, S. Luzardo<sup>3</sup>, S. Fierro<sup>4</sup>, G. Quintans<sup>5</sup>

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la restricción de energía en ovejas desde el día 48 al 106 de gestación y posterior realimentación *ad libitum*, en el desempeño pre y postdestete, inicio de la pubertad y tasa ovulatoria de sus corderas en su primer otoño de vida. Las ovejas que gestaron corderos únicos o mellizos fueron asignadas a dos tratamientos nutricionales desde el día 48 hasta el día 106 de gestación: restringido (R;  $n = 60$ ) al 60% de sus requerimientos de energía metabolizable (EM), o no restringido (NR;  $n = 54$ ) al 100% de sus requerimientos de ME. Luego del período de restricción, las ovejas pastorearon todas juntas *ad libitum* hasta el destete. Se determinó el peso corporal de las ovejas durante el período experimental y al destete. Se registraron la carga fetal y el sexo de los corderos. Todos los corderos fueron evaluados conjuntamente desde el nacimiento al destete y a partir de un mes luego del destete, las hembras fueron evaluadas durante su primera estación reproductiva donde se registró ganancia de peso, espesor de grasa (EG), área de ojo de bife (AOB), inicio de la pubertad y tasa ovulatoria (número de cuerpos lúteos/ total de corderas con cuerpo lúteo). Las ovejas NR pesaron 7,5 kg más que las ovejas R ( $P < 0,05$ ) al final del período de restricción. El peso al nacer del cordero (PN) no se vio afectado ( $P > 0,05$ ) por el tratamiento dietario de sus madres, aunque los corderos machos y únicos presentaron un

PN mayor ( $P < 0,05$ ) que las hembras y los mellizos, respectivamente. No se observaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en el peso al destete (PD) entre los tratamientos nutricionales de las ovejas o el sexo del cordero. Durante el período experimental, las corderas nacidas únicas siempre fueron más pesadas ( $P < 0,05$ ), tuvieron mayor AOB y EG ( $P < 0,05$ ) que las corderas nacidas mellizas, pero no hubo diferencia ( $P > 0,05$ ) en estas variables entre corderas nacidas de ovejas R y NR. No hubo diferencia ( $P > 0,05$ ) en ciclicidad o tasa ovulatoria para corderas nacidas únicas o mellizas y tampoco para corderas nacidas de ovejas R o NR. Las ovejas restringidas al 60% de sus requerimientos de EM en la mitad de la gestación, parecen tener la capacidad de compensar cualquier efecto negativo sobre el crecimiento y desarrollo, así como el potencial reproductivo de la cordera, siempre y cuando existan condiciones adecuadas de realimentación en la gestación tardía, lactancia y pos-destete.

**Palabras clave:** programación fetal, cordera, restricción nutricional, crecimiento, pubertad, ciclicidad, tasa ovulatoria.

## ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate maternal energy restriction in ewes from day 48 to 106 of gestation on pre- and post-weaning lambs' performance, onset of female lambs' puberty and ovulation rate when their dams

<sup>1</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA La Estanzuela, Uruguay.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinaria, Jaboticabal, Brasil.

<sup>3</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Tacuarembó, Uruguay.

<sup>4</sup> Secretariado Uruguayo de la Lana.

<sup>5</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Treinta y Tres, Uruguay.

were fed *ad libitum* after the restriction period. Ewes bearing single or twin lambs were assigned to two dietary treatments from day 48 to day 106 of gestation: restricted (R;  $n = 60$ ) at 60% of their metabolizable energy (ME) requirements, or non-restricted (NR;  $n = 54$ ) at 100% of their ME requirements. After the restriction period ewes grazed all together *ad libitum* until weaning. Ewes body weight was recorded during nutritional treatment application and at weaning. Litter size and lamb sex were recorded. All lambs were evaluated together from birth until weaning. One month after weaning, female lambs were further evaluated during their first breeding season where it was recorded their liveweight gain, fat depth, rib eye area, onset of puberty, ovulation rate (number of corpus luteum/total female lambs with corpus luteum). Non-restricted ewes weighed 7.5 kg more than R ewes ( $P < 0.05$ ) at the end of the restriction period. Lamb birth weight (BW) was not affected ( $P > 0.05$ ) by dams' treatment although male and single lambs had a greater ( $P < 0.05$ ) BW than females and twins, respectively. No significant differences ( $P > 0.05$ ) were detected on the weaning weight between ewes' feeding treatments or lamb sex. During the experimental period, single born female lambs always were heavier ( $P < 0.05$ ), had higher fat depth and rib eye area than twin female lambs but there was no difference ( $P > 0.05$ ) in these traits for female lambs born to R or NR ewes. There was no difference in the percentage of ewes cycling or their ovulation rate during the first breeding season of female lambs born single or twin neither of female lambs born to R or NR ewes. Ewes restricted at 60% of their ME requirements in mid-gestation seems to have the capacity to compensate any detrimental effects on lamb growth and development as well as the reproductive potential of female lambs if adequate refeeding conditions are provided in late gestation, throughout lactation and postweaning.

**Keywords:** fetal programming, female lamb, nutritional restriction, puberty, cyclicity, ovulation rate.

## INTRODUCCIÓN

En nuestra región, la mayoría de las majadas de cría se alimentan de pasturas nativas y la restricción nutricional durante el invierno es frecuente debido a una reducción en la disponibilidad de forraje (Boggiano *et al.*, 2005). Este periodo generalmente se corresponde con el tercio medio de la gestación de la oveja y puede afectar negativamente el desempeño productivo de su progenie (Wu *et al.* 2006).

La subnutrición durante gestación, o en el periodo posnatal puede además afectar el desempeño reproductivo a través de efectos en el desarrollo de las gónadas (Rae *et al.* 2001; Murdoch *et al.*, 2003; Rhind, 2004; Da Silva *et al.*, 2002, 2003) o útero (Sosa *et al.*, 2009). En efecto, la restricción nutricional durante la gestación redujo la fertilidad (Long *et al.*, 2010) y la tasa ovulatoria de la progenie cuando estas fueron adultas (Rae *et al.*, 2002) mientras que, en las progenies jóvenes, la subnutrición de las madres durante la gestación disminuyó la fertilidad en corderas (Gunn y Doney, 1973; Gunn *et al.*, 1995) y retardó el inicio de la pubertad en ratas (Leonhardt *et al.*, 2002).

Un trabajo realizado por Piaggio *et al.* (2014) muestra que en nuestras condiciones productivas el crecimiento luego del destete y el peso al inicio del servicio son los dos parámetros más importantes en determinar el inicio de pubertad y éxito de preñez en corderas. No obstante, existe evidencia que el efecto de la subnutrición pos-destete sobre el inicio de la pubertad puede estar potenciado por una subnutrición durante la gestación y afectar la eficiencia reproductiva en general (Gunn *et al.*, 1995; Rhind *et al.*, 1998) y el inicio de la pubertad de las corderas en particular (Sepúlveda *et al.*, 2001). Sin embargo, la información que existe sobre el efecto aislado de la subnutrición durante gestación en el inicio de pubertad en ovinos es escasa. A pesar de que otros modelos de crecimiento prenatal restringido como la esquila preparto (Lopez

Mazz *et al.*, 2019) o sobrealimentación durante gestación (Da Silva *et al.*, 2001) no mostraron tener efecto en el inicio de la pubertad, amerita una investigación más profunda del estudio de la subnutrición per se y en niveles de restricción acorde a nuestras condiciones pastoriles extensivas.

Con el objetivo de estudiar el efecto de una restricción energética moderada en gestación media el presente trabajo evaluó el desempeño de las corderas durante la lactancia y su primera estación de cría, midiendo el desarrollo, inicio de pubertad y tasa ovulatoria. La hipótesis del estudio fue que las corderas nacidas de ovejas sometidas a una restricción nutricional energética moderada desde el día 48 al 106 de gestación, no presentarían efectos negativos en el desempeño animal pre y postdestete, inicio de pubertad y tasa ovulatoria en su primera estación de cría, cuando sus madres fueron realimentadas *ad libitum* luego del período de restricción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en la Unidad Ovinos de la Estación Experimental INIA La Estanzuela (34° 20' 23.72" S – 57° 41' 39.48" O). Los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité de Ética Animal del INIA (número 2016.48).

### Procedimiento experimental

Ovejas Ideal adultas (4 años de edad y multíparas) fueron sincronizadas utilizando una doble dosis de 160 mg de d-Cloprostenol (Veteglan Laboratorio Calier, Barcelona, España) y apareadas colectivamente en el segundo celo luego de la sincronización con 6 carneros/100 ovejas de la raza Finnish. Ciento catorce ovejas ( $44,2 \pm 4,9$  kg PV) gestando corderos únicos ( $n = 75$ ) o mellizos ( $n = 39$ ) fueron asignadas a 2 tratamientos nutricionales desde el 48 al 106 de gestación: a) restringidas (R), ovejas a las cuales se les ofreció una ración totalmen-

te mezclada (RTM) (871,6 g MS/kg; 145,7 g PC/kg MS; 212,0 g FDA/kg MS, 344,8 g FDN/kg MS y 11,09 MJ EM/kg MS) que suministraba el 60% de sus requerimientos de energía metabolizable (EM) y b) no restringidas (NR), ovejas a las que se les ofreció la misma RTM pero que cubría el 100% de sus requerimientos de EM (Graz Feed™, 2010). Durante la aplicación de los tratamientos experimentales, las ovejas fueron alimentadas grupalmente en corrales, con un área de 30 m<sup>2</sup>/oveja. Desde el día 107 de gestación hasta 10 días antes de la fecha esperada de parto, las ovejas pastorearon avena (1800 kg MS/ha; 158,6 g PC/kg MS, 354,0 g FDA/kg MS y 531,5 g FDN/kg MS y 9.92 MJ EM/kg MS) *ad libitum* (> 12 kg MS/100 kg PV), siendo suplementadas los últimos 10 días de gestación con 0,2 kg MS de grano de cebada por oveja (895,7 g MS/kg; 117,5 g PC/kg MS; 91,3 g FDA/kg MS; 27,8 g FDN/kg MS y 13,05 MJ EM/kg MS). Durante la lactancia, todas las ovejas pastorearon conjuntamente en pasturas mejoradas, y los corderos fueron destetados a una edad promedio de 96 días. Las ovejas se pesaron cada 14 días desde el inicio de los tratamientos experimentales hasta el parto.

### Determinaciones y manejo de los corderos

Al nacimiento los corderos fueron identificados con una caravana, registrándose el peso y sexo de éstos. Posteriormente, los corderos fueron pesados cada 14 días hasta su sacrificio y las corderas hasta los 8,5 meses de edad. Luego del destete, solo se utilizaron las corderas para la fase de recría y evaluación del inicio de pubertad y tasa ovulatoria. Setenta corderas (37 corderas de ovejas R y 33 de ovejas NR; 33 corderos únicos y 37 mellizos) se manejaron en conjunto pastoreando praderas artificiales con una asignación mínima de 6kg de MS/100 kg de peso vivo desde los 131 (17 de enero) a los 250 días de edad (26 de mayo).

### Determinaciones de desarrollo muscular y engrasamiento

El área de ojo de bife y espesor de grasa de las corderas a inicio, mitad y final de la fase experimental o de recría se midieron mediante ultrasonografía con un equipo ecógrafo y una sonda de 12 MHz especial para ovinos (Aloka 500, Aloka Co. Ltd., Tokio, Japón). El área del ojo de bife (área del músculo *Longissimus thoracis*) fue medido entre la 12ª y 13ª costilla y el espesor de grasa en la 12ª costilla a 11 cm de la espina dorsal.

### Determinaciones en inicio de pubertad y tasa ovulatoria

Inmediatamente luego del destete, dos capones androgenizados fueron utilizados para detectar celo, medida indirecta para medir el inicio de pubertad en las corderas. A cada capón se le suministró una dosis de 5 ml de testosterona (500 mg de Ciclopentilpropionato de Testosterona (CT); Testosterona Ultra Lenta® Dispert Montevideo, Uruguay) al comienzo del experimento, la cual fue reforzada cada 30 días con 1 ml de testosterona (100 mg de CT) de manera que estos mantuvieran actividad sexual durante el período de evaluación. Los capones fueron pintados en el pecho con tierra de color y se recorría la majada todos los días para registrar aquellas hembras que se encontraban marcadas en el anca, evidenciando haber aceptado el macho y por ende haber manifestado celo. También se confirmó el inicio de la pubertad por presencia de cuerpo lúteo. Para ello se realizaron ecografías de ovarios de todas las corderas para detectar la presencia y cantidad de cuerpos lúteos. La ecografía se realizó de forma transrectal con un ecógrafo Aloka 500 (Tokio, Japón) y una sonda rígida de 7.5 MHz. Para establecer la fecha de la primera ecografía y el período por el cual hacer el monitoreo de la actividad ovárica se tuvo en cuenta la detección de celos con capones. Se hicieron 4 ecografías, separadas por intervalos de 20 días. Finalmente se calculó la tasa ovulatoria como la cantidad de cuerpos lúteos sobre el total de ovejas con cuerpo lúteo.

### Análisis estadístico

Las variables respuesta hasta el destete fueron analizadas como un diseño factorial 2 x 2 x 2, considerando como efectos fijos el tratamiento nutricional (R o NR) de las ovejas, sexo (macho o hembra) del cordero, y carga fetal (único o mellizos) mientras que el animal fue considerado como efecto aleatorio. El análisis estadístico se llevó adelante utilizando un modelo lineal mediante el procedimiento PROC MIXED del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, versión 9.4). El peso de las corderas posdestete se analizó aplicando un análisis de varianza utilizando un modelo lineal incluyendo los efectos fijos de tratamiento nutricional de la oveja y carga fetal y sus respectivas interacciones. Las características de la carcasa (AOB y EG) se analizaron como medidas repetidas en el tiempo, siendo las estructuras de covarianza no estructuradas (UN) y autorregresivas (AR [1]) las que mejor se ajustaron a los datos, respectivamente, basados en el criterio de información de Akaike (AIC). Para ciclicidad y tasa ovulatoria fue utilizado un modelo lineal generalizado con medidas repetidas asumiendo una distribución para el error binomial y Poisson para ciclicidad y tasa ovulatoria, respectivamente, utilizando el procedimiento PROC GENMOD. En los análisis de medidas repetidas los modelos incluyeron los efectos fijos de tratamiento nutricional de la oveja, carga fetal y día, y sus respectivas interacciones. Luego del análisis de varianza (ANOVA), se calcularon las medias de mínimos cuadrados para las comparaciones entre tratamientos con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ , utilizando la opción PDIFF (test de T) del LSMEANS, cuando las pruebas F fueron significativas ( $P < 0,05$ ).

### RESULTADOS

Respecto al desempeño de las ovejas, no se observaron diferencias ( $P > 0,05$ ) en el peso vivo al comienzo del período de restricción energética, pero las ovejas NR pesaron 7,5 kg más ( $P < 0,05$ ) que las R al final de dicho período (Cuadro 1). Como era de esperar, las ovejas que gestaron mellizos presentaron

un mayor peso vivo ( $P < 0,05$ ) al comienzo y al final del período de restricción nutricional que aquellas que gestaron corderos únicos (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Peso vivo de las ovejas al inicio y fin del período de restricción y al momento del destete, según tratamiento nutricional, carga fetal y su interacción.

	Tratamiento (Trt) <sup>1</sup>		Carga fetal (CF)		P valor		
	R (n = 60)	NR (n = 54)	Únicos (n = 75)	Mellizos (n = 39)	Trt	CF	Trt x CF
PV inicial ovejas (kg)	44,8±0,9	44,7±0,9	42,5 <sup>b</sup> ±0,8	47,0 <sup>a</sup> ±0,9	0,9921	0,0009	0,0354
PV final ovejas (kg)	49,3 <sup>b</sup> ±0,9	56,8 <sup>a</sup> ±0,9	49,9 <sup>b</sup> ±1,0	56,3 <sup>a</sup> ±1,1	0,0017	0,0002	0,0846
PV destete ovejas (kg)	48,7±0,9	49,7±0,9	48,2±0,8	50,3±1,0	0,4383	0,1093	0,0881

<sup>1</sup> Tratamiento: R: RTM suministrando 60% de los requerimientos de energía metabolizable (EM) desde el día 48 al 106 de gestación; NR: RTM suministrando 100% de los requerimientos de EM desde el día 48 al 106 de gestación.

<sup>a,b</sup> Medias de Mínimos Cuadrados con diferentes letras en la misma fila difieren significativamente ( $P < 0,05$ ).

El plano nutricional al cual fueron sometidas las ovejas durante la gestación media no afectó ( $P > 0,05$ ) el peso al nacer (PN) de los corderos; no obstante, los corderos machos y los únicos pesaron significativamente más ( $P < 0,05$ ) que las hembras y los mellizos, respectivamente (Cuadro 2). No se observaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en el peso al destete (PD) ni la ganancia media diaria (GMD) pre-destete de los corderos entre los tratamientos nutricionales de las ovejas o el sexo de los corderos. Sin embargo, el PD de los corderos únicos fue 22% mayor ( $P < 0,05$ ) que el de los mellizos con una GMD pre-destete superior ( $P < 0,05$ ) a la

de éstos en casi 55 g/a/d (Cuadro 2). Luego del destete y hasta el final del experimento las corderas nacidas únicas siempre fueron más pesadas ( $P < 0,05$ ), tuvieron mayor AOB y EG ( $P < 0,05$ ) que las corderas nacidas mellizas, pero no hubo diferencia ( $P > 0,05$ ) en estas variables entre corderas nacidas de ovejas R y NR (Cuadro 3). No hubo diferencia ( $P > 0,05$ ) en ciclicidad o tasa ovulatoria para corderas nacidas únicas o mellizas y tampoco para corderas nacidas de ovejas R o NR. Más de 80% de todas las corderas ciclaron en la estación de cría evaluada mientras que la tasa ovulatoria fue de 1,40 a 1,50 (Cuadro 4).

**Cuadro 2.** Desempeño de los corderos desde su nacimiento hasta el destete, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal, sexo del cordero y sus interacciones.

	Tratamiento (Trt) <sup>1</sup>				Sexo			Carga fetal (CG)			P valor			
	R (n = 32)	NR (n = 32)	Macho (n = 24)	Hembra (n = 40)	Únicos (n = 24)	Mellizos (n = 40)	Trt	Sexo	CG	Trt x Sexo	Trt x CF	Trt x Sexo x CF		
Peso nacer (kg)	4,15±0,11	4,30±0,10	4,38 <sup>a</sup> ±0,12	4,07 <sup>b</sup> ±0,09	4,75 <sup>a</sup> ±0,12	3,70 <sup>b</sup> ±0,09	0,3247	0,0385	<0,0001	0,7472	0,8303	0,1598		
Peso destete (kg)	23,09±0,35	23,54±0,33	23,76±0,39	22,87±0,30	25,30 <sup>a</sup> ±0,44	21,33 <sup>b</sup> ±0,33	0,9997	0,8600	<0,0001	0,6381	0,0412	0,2546		
GMD <sup>2</sup> destete (g/d)	201,7±5,72	207,0±5,22	211,1±6,09	197,6±4,78	231,7 <sup>a</sup> ±6,01	177,0 <sup>b</sup> ±4,89	0,4911	0,0865	<0,0001	0,0692	0,6855	0,4464		

<sup>1</sup> Tratamiento: R: RTM suministrando 60% de los requerimientos de energía metabolizable (EM) desde el día 48 al 106 de gestación; NR: RTM suministrando 100% de los requerimientos de EM desde el día 48 al 106 de gestación.

<sup>2</sup> Ganancia media diaria promedio de los corderos desde el nacimiento hasta el destete.

<sup>a,b</sup> Medias de Mínimos Cuadrados con diferentes letras en la misma fila difieren significativamente (P<0,05).



**Cuadro 3.** Desempeño de las corderas hembras durante la primera estación reproductiva, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal y su interacción.

	Tratamiento (Trt) <sup>1</sup>		Carga fetal (CF)		P valor		
	R (n = 24)	NR (n = 31)	Únicas (n = 28)	Mellizas (n = 27)	Trt	CF	Trt x CF
PV inicial <sup>2</sup> (kg)	27,3±0,57	28,7±0,60	30,8a±0,7	25,1b±0,6	0,093	<0,0001	0,1548
PV final <sup>3</sup> (kg)	42,3±0,7	42,2±0,7	44,7a±0,7	39,9b±0,7	0,905	<0,0001	0,1778
AOB <sup>4</sup> (cm <sup>2</sup> )	7,10±0,10	7,32±0,10	7,8 a ±0,10	6,6b ±0,10	0,132	<0,0001	0,642
EG <sup>5</sup> (mm)	1,73±0,035	1,75±0,036	1,8a ±0,04	1,7b ±0,04	0,758	0,0041	0,549

<sup>1</sup> Tratamiento: R: RTM suministrando 60% de los requerimientos de energía metabolizable (EM) desde el día 48 al 106 de gestación; NR: RTM suministrando 100% de los requerimientos de EM desde el día 48 al 106 de gestación.

<sup>2</sup> Peso vivo de las corderas al inicio del experimento.

<sup>3</sup> Peso vivo de las corderas al final del experimento.

<sup>4</sup> Área de ojo de bife de las corderas durante la fase experimental.

<sup>5</sup> Espesor de grasa de las corderas durante la fase experimental.

<sup>a,b</sup> Medias de Mínimos Cuadrados con diferentes letras en la misma fila difieren significativamente (P<0,05).

**Cuadro 4.** Número de animales ciclando y tasa ovulatoria de las corderas en su primera estación reproductivas, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal y su interacción.

	Tratamiento (Trt) <sup>1</sup>		Carga fetal (CF)		P valor		
	R (n = 24)	NR (n = 31)	Únicas (n = 28)	Mellizas (n = 27)	Trt	CF	Trt x CF
Ciclicidad <sup>2</sup>	0,89±0,06	0,85±0,06	0,83±0,07	0,90±0,05	0,6867	0,369	0,0923
Tasa Ovulatoria <sup>3</sup>	1,44±0,07	1,46±0,09	1,51±0,09	1,40±0,07	0,9494	0,7206	0,0725

<sup>1</sup> Tratamiento: R: RTM suministrando 60% de los requerimientos de energía metabolizable (EM) desde el día 48 al 106 de gestación; NR: RTM suministrando 100% de los requerimientos de EM desde el día 48 al 106 de gestación.

<sup>2</sup> Ciclicidad o probabilidad de las corderas de entrar en pubertad.

<sup>3</sup> Tasa ovulatoria o cantidad de cuerpos lúteos sobre el total de corderas con cuerpo lúteo.

<sup>a,b</sup> Medias de Mínimos Cuadrados con diferentes letras en la misma fila difieren significativamente (P<0,05).

## DISCUSIÓN

El presente trabajo evaluó el efecto de la restricción nutricional energética en ovejas durante el segundo tercio de gestación (día 48 al 106 de gestación), seguida de una fase de realimentación *ad libitum* durante la gestación tardía y la lactancia, en el desempeño pre y postdestete, inicio de la pubertad y tasa ovulatoria de sus corderas en su primer otoño de vida.

El plano nutricional de las ovejas durante el segundo tercio de gestación no afectó el PN de los corderos, lo cual coincide con lo reportado por Piaggio *et al.* (2018), en donde las ovejas tuvieron el mismo nivel y periodo de restricción energética que las de nuestro

experimento. La restricción nutricional de la oveja en etapas tempranas y media de gestación parece no tener efecto significativo en el peso vivo al nacimiento de los corderos que sí lo tiene en el último tercio de gestación (Roca Fraga *et al.*, 2018). En nuestro experimento los corderos machos presentaron un PN mayor que las hembras, sin embargo, no se registraron diferencias en el PD entre ambos sexos lo cual coincide con los resultados reportados por Piaggio *et al.* (2018). En nuestro trabajo, no se encontraron diferencias en el PN y la GMD durante la lactancia en los corderos nacidos de ovejas R y NR lo que seguramente se deba a similar peso al nacimiento y a una similar producción de leche de las madres (Luzardo *et al.*; 2019) ya que existe una correlación positiva entre

el PN y la GMD durante la lactancia (Villette y Theriez, 1981; Kenyon *et al.*, 2004). Luego del destete, la evolución de peso, el AOB y el espesor de grasa de las corderas nacidos de ovejas R y NR fueron similares. En el mismo sentido, Piaggio y colaboradores trabajando con corderos machos no encontraron diferencia para estas mismas variables luego del destete (Piaggio *et al.*, 2018). Taplin y Everitt (1964) observaron que el retraso en el desarrollo placentario y el crecimiento fetal antes del día 90 de gestación, debido a una restricción nutricional materna, puede ser parcialmente compensado por un alto plano alimenticio desde el día 90 de gestación hasta el parto. Seguramente esto fue lo que sucedió a los corderos en nuestro experimento ya que sus madres fueron realimentadas *ad libitum* a partir del día 106 de gestación, fecha no muy distante de la propuesta por Taplin y Everitt como límite para generar una compensación.

El plano nutricional de las madres en gestación no afectó el porcentaje de corderas que empezaron a ciclar durante su primera estación de cría. Las corderas generalmente entran en pubertad cuando logran 50 a 70% del peso adulto (Hafez, 1952; Dýrmundsson, 1973) por lo que los factores ambientales que influyen el crecimiento pre y pos-destete de las corderas son importantes en determinar el momento del inicio de pubertad (Foster *et al.*, 1985). En nuestro experimento, la restricción nutricional aplicada a las ovejas en gestación no tuvo efecto ni el peso al nacimiento, ni en la ganancia pre o pos-destete por lo

que seguramente tampoco influyó en el inicio de la pubertad. Tampoco parece haber habido un efecto directo de la subnutrición sobre el desarrollo de las gónadas fetales a pesar de que en el momento que se impuso la restricción nutricional, se estaba produciendo la proliferación de las oogonias y se estaban estableciendo los primeros folículos primordiales y primarios del feto ovino (Zambrano *et al.*, 2014). Mas del 80% de las corderas entraron en pubertad lo que se condice con otro estudio realizado con razas precoces o sus cruzas (Banchero *et al.*, 2014), pero no con razas menos precoces como Corriedale donde se obtuvo rangos de pubertad de 0 a 47% (Banchero *et al.*, 2014; Piaggio *et al.*, 2014). La tasa ovulatoria de las corderas en su primera estación reproductiva fue alta y similar a la reportada para corderas de otros cruzamientos con Finnish Landrace (Banchero *et al.*, 2014).

## CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados del presente trabajo muestran que, si bien las ovejas estuvieron restringidas al 60% de sus requerimientos de EM durante 58 días de gestación (del día 48 al 106), habrían compensado posteriormente cualquier efecto negativo sobre el desempeño de los corderos predestete o de las corderas pre y posdestete. Dicha compensación sería posible siempre y cuando existan condiciones adecuadas de realimentación en la gestación tardía y durante toda la lactancia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Banchero G., Vázquez A., Quintans G., Ciappesoni G.** 2014. Estudio preliminar del crecimiento, desarrollo e indicadores reproductivos de hembras de seis biotipos ovinos en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 18 (1), 117-127
- Boggiano P.; Zanoniani R. and Millot J.C.** 2005. Respuestas del campo natural a manejos crecientes de intervención. En Seminario de Actualización Técnica en manejo de campo natural (Serie Técnica 151), (eds. R Gómez Miller and MM Albicette), pp. 105–114. INIA, Montevideo, Uruguay.
- Da Silva, P.; Aitken, R.P.; Rhind, S.M., Racey, P.A. and Wallace, J.M.,** 2001. Influence of placentally mediated fetal growth restriction on the onset of puberty in male and female lambs. *Reproduction* 122, 375–383.
- Da Silva, P.; Aitken, R.P.; Rhind, S.M.; Racey, P.A. and Wallace, J.M.** 2002. Impact of maternal nutrition during pregnancy on pituitary gonadotrophin gene expression and ovarian development in growth-restricted and normally grown late gestation fetuses. *Reproduction* 123, 769–777.
- Da Silva, P.; Aitken, R.P.; Rhind, S.M.; Racey, P.A. and Wallace, J.M.,** 2003. Effect of maternal overnutrition during pregnancy on pituitary gonadotrophin gene expression and gonadal morphology in female and male foetal sheep at day 103 of gestation. *Placenta* 24, 248–257.
- Dýrmundsson Ó.R.** 1973: Puberty and early reproductive performance in sheep. I. Ewe lambs. *Animal Breeding Abstracts* 41, 273–289.
- Foster D.L.; Yellon S.M. and Olster D.H.,** 1985: Internal and external determinants of the timing of puberty in the female. *J Reprod Fertil* .75, 327– 344.
- Gunn, R.G. and Doney, J.M.,** 1973. The effects of nutrition and rainfall at the time of mating on the reproductive performance of ewes. *J Reprod Fertil* . Supplement 19, 253–258.
- Gunn, R.G.; Sima, D.A. and Hunter, E.A.;** 1995. Effects of nutrition *in utero* and in early life on the subsequent lifetime reproductive performance of Scottish Blackface ewes in two management systems. *Anim Sci* 60, 223–230.
- Hafez E.S.E.** 1959. Studies on the breeding season and *Reproduction* of the ewe. Part I. The breeding season in different environments. Part II. The breeding season in one locality *J Agr Sci* 42, 189-231
- Kenyon, P.R. and Blair, H.T.** 2014. Foetal programming in sheep – Effects on production. *Small Rumin. Res.*, 118, 16-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.12.021>.
- Leonhardt, M.; Lesage, J.; Dufourny, L.; Dickes-Coopman, A.; Montel, V. and Dupouy, J.P.,** 2002. Perinatal maternal food restriction induces alterations in hypothalamo–pituitary–adrenal axis activity and in plasma corticosterone binding globulin capacity of weaning rat pups. *Neuroendocrinology* 75, 45–54.
- Long, N. M.; Nijland, M. J.; Nathanielsz, P. W.; Ford, S. P.** 2010. The effect of early to mid-gestational nutrient restriction on female offspring fertility and hypothalamic-pituitary-adrenal axis response to stress. *J An Sci*, 88(6), 2029-2037
- López-Mazz, C. Baldi F., Quintans G., Kenyon P.R., Correa O., Regueiro M., Álvarez-Oxiley A. and Banchero G.E.** 2019. Effect of early shearing during gestation on the productive and reproductive behavior of female sheep offspring in their first 18 months of age. *Animal* (in press).

**Murdoch, W.J.; Van Kirk, E.A.; Vonnahme, K.A.; Ford, S.P.;** 2003. Ovarian responses to undernutrition in pregnant ewes, USA. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 1, 6.

**Piaggio, L.; Deschenaux H.; Baldi F.; Fierro S.; Quintans, G. and Banchemo, G.** 2014. Plane of nutrition of Corriedale ewe lambs from foetal life to the onset of breeding affects weight at service and reproductive outcome. *Anim. Prod. Sci.* 55(8), 1011-1017

**Piaggio, L.; Quintans, G.; San Julián, R.; Ferreira, G.; Ithurralde, J.; Fierro, S.; Pereira, A.S.C.; Baldi, F. and Banchemo, G.E.** 2018. Growth, meat and efficiency traits of lambs born to ewes submitted to energy restriction during mid-gestation. *Animal*, 12, 256-264.  
<https://doi.org/10.1017/S1751731117001550>

**Rae, M.T.; Palassio, S.; Kyle, C.E.; Brooks, A.N.; Lea, R.G.; Miller, D.W. and Rhind, S.M.** 2001. Effect of maternal undernutrition during pregnancy on early ovarian development and subsequent follicular development in sheep fetuses. *Reproduction* 122, 915-922

**Rae, M.T.; Rhind, S.M.; Fowler, P.A.; Miller, D.W.; Kyle, C.E. and Brooks, A.N.** 2002. Effect of maternal undernutrition on fetal testicular steroidogenesis during the CNS androgen-responsive period in male sheep fetuses. *Reproduction* 124, 33-39.

**Rhind S.M.; Elston D.A.; Jones J.R.; Rees J.R.; McMillen S.R. and Gunn R.G.** 1998. Effects of restriction of growth and development of Brecon Cheviot ewe lambs on subsequent lifetime reproductive performance. *Small Rumin Res*, 30, 121-6.

**Rhind, S.M.; Rae, M.T. and Brooks, A.N.** 2001. Effects of nutrition and environmental factors on the fetal programming of the reproductive axis. *Reproduction* 122, 205-214.

**Rhind, S.M.** 2004 Effects of maternal nutrition on fetal and neonatal reproductive development and function. *Animal Reproduction Science* 82-83 169-181.

**Roca Fraga, F.J.; Lagisz, M.; Nakagawa, S.; Lopez-Villalobos, N.; Blair, H.T. and Kenyon, P.R.** 2018. Meta-analysis of Lamb birth weight as influenced by pregnancy nutrition of multiparous ewes. *J. Anim. Sci.*, 96, 1962-1977. <https://doi.org/10.1093/jas/sky072>.

**Sepúlveda N.G.; Risopatrón J.; Oberg J. and Neumann A.** 2001. Pre and post partu supplementation of ewes: effect on the onset of puberty and reproductive activity of their female offspring. *Files of Veterinary Medicine* 33, 89-96.

**Sosa, C.; Abecia, J.; Carriquiry, M; Vázquez, M.; Fernández-Foren, A.; Talmon, M.; Forcada, F.; Meikle, A.** 2009. Effect of undernutrition on the uterine environment during maternal recognition of pregnancy in sheep. *Reprod Fert Develop.*, 21(7), 869-881

**Taplin, D.E. and Everitt, G.C.** 1964. The influence of prenatal nutrition on postnatal performance of Merino lambs. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 5, 72-81.

**Villette, Y. and Theriez, M.** 1981. Influence of birth weight on lamb performances. I. Level of feed intake and growth. *Ann. Zootech.* 30, 151-168.

**Wu, G.; Bazer, F.W.; Wallace, J.M. and Spencer, T.E.** 2006. Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. *J. Anim. Sci.*, 84, 2316-237. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-156>.

# EFECTO SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, REPRODUCTIVO Y LA RESPUESTA AL DESAFÍO PARASITARIO EN CORDERAS CUYAS MADRES FUERON ESQUILADAS A LOS 50 DÍAS DE GESTACIÓN

C. López-Mazz<sup>1</sup>, F. Baldi<sup>2</sup>, G. Quintans<sup>3</sup>, P.R. Kenyon<sup>4</sup>, O. Correa<sup>5</sup>, M. Regueiro<sup>1</sup>, A. Álvarez-Oxiley<sup>1</sup>, G.E. Banchemo<sup>6</sup>

## RESUMEN

Este estudio evaluó el efecto de la esquila de ovejas a los 50 días de gestación en el crecimiento, el comportamiento reproductivo y la respuesta a un desafío de parásito gastrointestinal en la descendencia (corderas) desde el destete (104 días) hasta los 18 meses de edad. Se usaron cincuenta y siete corderas Ideal (Polwarth), 22 nacidas como únicas (S) y 35 nacidas como mellizas (T) de ovejas esquiladas a los 50 días de gestación (PS, n= 23) o esquiladas a los 62 días después del parto (U, Control, n = 34) dando como resultado 4 subgrupos: SPS: corderas únicas nacidas de ovejas esquiladas a los 50 días de gestación (n = 8), SU: corderas únicas nacidas de ovejas esquiladas postparto (n = 14), TPS: corderas mellizas nacidas de ovejas esquiladas a los 50 días de gestación (n = 15) TU: corderas mellizas nacidas de ovejas esquiladas postparto (n = 20). Todas las corderas se manejaron en conjunto sobre pasturas mejoradas con una asignación mínima de forraje de 6% de peso vivo en base a materia seca. El peso corporal, la condición corporal (CC) y el recuento de huevos de parásitos en heces se registraron cada 14 días desde el destete hasta los 18 meses de edad. Las concentraciones de progesterona se midieron semanalmente (de los 4 a los 10 meses de edad y de los 14 a los 18 meses de edad) para establecer el inicio de la pubertad. Se registró la tasa ovulatoria ( $545 \pm 1,0$  d de edad). La esquila antes del parto no afectó la edad en la pubertad o la tasa ovulatoria, pero las corderas nacidas únicas

fueron más precoces ( $P = 0,03$ ) y más pesadas ( $P = 0,02$ ) en la pubertad que las corderas mellizas. Tanto el valor promedio del recuento de huevos de parásitos ( $P = 0,07$ ) como el índice de Famacha ( $P = 0,02$ ) para todo el período de estudio fueron más bajos en corderas nacidas de ovejas esquiladas antes del parto que las nacidas de ovejas esquiladas después del parto. En conclusión, la esquila a los 50 días de gestación no afectó el crecimiento o el comportamiento reproductivo de la descendencia. Sin embargo, las corderas hembras nacidas de ovejas esquiladas durante la gestación mostraron una mejor respuesta al desafío parasitario, pero se requiere más investigación para confirmarlo.

**Palabras clave:** esquila temprano, crecimiento, reproducción, inmunidad, corderas

## ABSTRACT

This study evaluated the effect of shearing ewes at 50 day of gestation on the growth, reproductive behavior and response to a gastrointestinal parasite challenge in the female offspring from weaning (104 d) to 18 months old. Fifty-seven Polwarth female lambs were used, 22 single (S) and 35 twin (T) born to ewes either shorn at 50 days of pregnancy (PS, n = 23) or shorn at 62 days post-partum (U, control, n = 34) resulting in four sub-groups: SPS: single female lambs born to ewes shorn at 50 days of pregnancy (n = 8), SU: single female lambs born to ewes shorn postpartum (n = 14), TPS: twin

<sup>1</sup> Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay;

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo, Brazil;

<sup>3</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Treinta y Tres, Uruguay;

<sup>4</sup> Sheep Research Centre, Institute of Veterinary, Animal and Biomedical Sciences, Massey University, Palmerston North, New Zealand;

<sup>5</sup> Departamento de Parasitología Veterinaria, Facultad de Veterinaria, Montevideo, Uruguay;

<sup>6</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA La Estanzuela, Uruguay.

females lambs born to ewes shorn at 50 days of pregnancy (n = 15) or TU: twin female lambs born to ewes shorn postpartum (n = 20). All progeny was managed together under improved pasture with a minimum forage allowance of 6% live weight on dry matter basis. Body weight, body condition score (BCS) and fecal eggs count was recorded every 14 d from weaning to 18 months of age. Concentrations of progesterone were measured weekly (from 4 to 10 months of age and from 14 to 18 months of age) to establish the onset of puberty. Ovulation rate ( $545 \pm 1.0$  d old) was recorded. Prepartum shearing did not affect the age at puberty or the ovulation rate, but those female lambs born as singles were more precocious ( $P = 0.03$ ) and heavier ( $P = 0.02$ ) at puberty than twin born female lambs. Both the average value of parasite egg count ( $P = 0.07$ ) and the Famacha index ( $P = 0.02$ ) for the entire study period were lower in female lambs born to prepartum shorn ewes than those born to postpartum shorn ewes. In conclusion, shearing at 50 days of gestation did not affect the growth or the reproductive behavior of female offspring. However, female lambs born from ewe shorn during gestation showed a better response to the parasite challenge, but further research is required to confirm this.

## INTRODUCCIÓN

La esquila previa al parto es una herramienta de manejo ampliamente difundida entre los criadores de ovejas y ha sido asociada con interesantes mejoras en la eficiencia reproductiva y en el desempeño productivo de las ovejas (Montossi et al., 2005). Sin embargo, la magnitud del incremento del peso vivo en los corderos y la especificidad en el tipo de parto (corderos nacidos únicos o mellizos) varía según los días de gestación y el estado de desarrollo que presenta la unidad fetoplacentaria al momento de realizar la esquila (Kenyon et al., 2003).

Muchos de los trabajos de investigación nacional (Banchero et al., 2010; Sphor et al., 2011; De Barbieri et al., 2018) e internacio-

nal (Smeaton et al., 2000; Morris et al., 2000; Kenyon et al., 2003) han reportado beneficios de la esquila preparto realizada a mitad de gestación (70-90 días post-servicio) sobre el peso vivo y supervivencia al nacimiento y destete. La mayor tasa de destete se ha relacionado con el peso vivo al nacimiento (Kenyon et al., 2003), consumo de calostro y vigor de los corderos recién nacidos (Banchero et al., 2009; 2010), aunque, no se descarta que existan otros factores que afecten la supervivencia de los corderos en respuesta a este manejo.

A su vez, la esquila realizada en el primer tercio de la gestación también mejoró el peso vivo de los corderos al nacimiento y al destete (Morris et al., 2000; Sphor et al., 2011). Del mismo modo y más recientemente, López-Mazz et al. (2017) reportaron que los corderos únicos y mellizos cuyas madres fueron esquilados a los 50 días de gestación fueron más pesados al nacimiento y al destete, que los corderos nacidos de ovejas esquiladas después del parto. Asimismo, los corderos mostraron un mayor vigor al nacimiento al intentar y lograr mamar más rápidamente que los corderos nacidos de ovejas esquiladas después del parto. Ese mayor vigor en la primera hora de vida ha sido relacionado con una mayor duración de la gestación y, con órganos y tejidos fetales que al momento del parto presentan un grado de madurez tal que le permita adaptarse rápidamente a la vida extrauterina (Banchero et al., 2010).

La mayoría de los trabajos de esquila a mitad de la preñez, han estudiado principalmente los efectos a corto plazo, desde el nacimiento hasta el momento del destete de los corderos (Kenyon et al., 2003). De este modo, no hay información sobre los posibles efectos de la esquila temprano en la gestación sobre el crecimiento y desarrollo y el comportamiento productivo en la vida adulta de los animales. Esto podría ser de mucho interés ya que la esquila en el primer tercio de la gestación coincide con el momento donde se está dando el proceso de organogénesis fetal (Hyttel et al., 2010), y crecimiento activo de la placenta (Kelly, 1992). La esquila

en gestación temprana resulta en cambios metabólicos y hormonales (Symonds et al., 1986; Sherlock et al., 2003) debido al estrés por frío una vez que se retira el vellón a la oveja (Corner et al., 2010). De esta manera, la partición de nutrientes entre la madre y el feto cambia a favor del feto (Thompson et al., 1982), aumenta la nutrición útero-fetal (Reynolds y Redmer, 1995), todo lo cual puede influir positivamente en la programación del desarrollo fetal respecto a los corderos nacidos de ovejas sin esquilas en ese momento.

Estudios previos han informado que una nutrición deficiente en los dos primeros tercios de la gestación puede afectar el crecimiento y el desarrollo corporal (Gluckman y Hanson, 2004; Greenwood et al., 2010), la salud (Cronjé, 2003) y el desarrollo de los órganos reproductivos y la función reproductiva en la vida adulta de hembras (Rae et al., 2002; Ashworth et al., 2005).

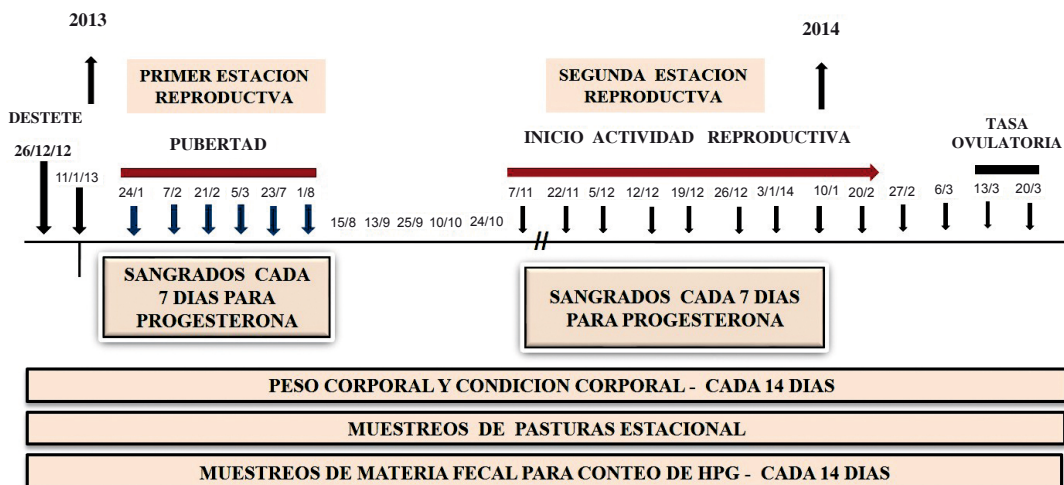
En las ovejas, el período de máximo crecimiento placentario ocurre entre los 30 y 80 días de gestación, quedando a los 40 días preñez establecido de manera definitiva el número final de placentomas (Kelly, 1992). En este momento, hay un marcado aumento en la vascularización de la placenta (Grazul-Bilska et al., 2011) y, en consecuencia, un aumento del flujo sanguíneo uterino placentario (Reynolds et al., 2010). Estos cambios ayudan a proporcionar un mayor nivel de sustrato energético (Reynolds y Redmer, 1995) que puede influir en el crecimiento y el desarrollo del feto, lo que, a su vez, podría tener implicaciones para el rendimiento a largo plazo de la descendencia.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la esquila a los 50 días de gestación sobre el desempeño productivo y reproductivo de las corderas, desde el destete hasta los 18 meses de edad. Además, examinar los efectos de la esquila temprana sobre el conteo de huevos de parásitos gastrointestinales en la materia fecal como un indicador indirecto de la carga parasitaria de la descendencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre diciembre del 2012 y marzo del 2014, en la Unidad Experimental de Ovinos del INIA La Estanzuela Uruguay (latitud 34°19'57 "S, longitud 57°40'07" W). El experimento fue diseñado y ejecutado en acuerdo con las directivas experimentales del Comité de Experimentación Animal de la Universidad de la República (UDELAR) (Permiso número: 111400-000079-12). Las corderas que se usaron en este estudio siguieron un diseño experimental presentado con más detalle en López-Mazz et al. (2017).

En resumen, 155 ovejas de raza Ideal (tipo lanero) fueron seleccionadas de una única majada (PC,  $46,4 \pm 0,7$  kg y CC,  $2,0 \pm 0,03$  escala de 0–5; Russel et al., 1969), y el celo sincronizado con 2 dosis de 160 mg de Delprostenate (Glandinex, Universal Laboratorio, Montevideo, Uruguay) con 11 días de diferencia y posteriormente inseminadas artificialmente (otoño), entre el 15 de abril y el 3 de mayo (90,3% preñez final). En el día  $\approx 40$  de gestación, las ovejas fueron revisadas por ecografía para determinar preñez y carga fetal y en el día  $50 \pm 0,5$  de gestación la mitad de las ovejas (gestando un cordero y mellizos) fueron esquiladas (7 de junio, fin otoño) usando un peine de cobertura, con un remanente de lana mínimo de 7 mm (de Barbieri et al., 2005). Las ovejas fueron asignadas según el peso y condición corporal a un diseño factorial de 2 por 2, que incluía el tiempo de esquila (preparto (PS,  $50 \pm 0,5$  de gestación) y posparto (U,  $62 \pm 0,6$  días)) y carga fetal (único (S) y mellizo (T)) dando como resultado los siguientes tratamientos: ovejas gestando un solo cordero esquiladas a los 50 días de gestación (SPS), ovejas gestando un solo cordero esquiladas después del parto (SU), ovejas gestando mellizos esquiladas a los 50 días de gestación (TPS) y ovejas gestando mellizos esquiladas después del parto (TU). Las corderas nacidas de estas ovejas fueron usadas en este estudio. El peso corporal de las corderas al destete fue de  $21,2 \pm 5,1$ ;  $20,6 \pm 2,9$ ;  $16,1 \pm 2,9$  y  $16,6 \pm 4,0$  kg para SPS, SU, TPS y TU respectivamente.



**Figura 1.** Protocolo experimental. Variables analizadas: peso corporal, condición corporal, concentración plasmática de progesterona, conteo de huevos de parásitos en materia fecal (HPG), muestreos de pasturas

### Animales y diseño experimental

El experimento comenzó en el momento del destete de las corderas ( $104 \pm 7$  días) y se extendió hasta los 18 meses de edad. Se usaron 57 corderas pertenecientes a los siguientes grupos experimentales: (i) corderas nacidas de partos únicos de ovejas esquiladas a los 50 días de gestación (SPS,  $n = 8$ ), (ii) corderas nacidas de parto único de ovejas esquiladas posparto (SU,  $n = 14$ ), (iii) corderas nacidas de partos dobles esquiladas a los 50 días de gestación (TPS,  $n = 15$ ) y (iv) corderas nacidas de partos dobles esquiladas posparto (TU,  $n = 20$ ).

Las corderas fueron manejadas como una sola majada y pastorearon *ad libitum* sobre pasturas mejoradas de alfalfa (*Medicago sativa*) o una mezcla de trébol rojo (*Trifolium pratense*) y raigrás (*Lolium multiflorum*) con un mínimo de oferta de forraje del 6% del peso vivo (9.8 MJ de energía metabolizable (EM)/kg de materia seca (MS), con acceso permanente a agua de buena calidad (ver cuadro 1 en el trabajo de los corderos).

### Peso corporal y escala de condición corporal

Cada 14 días se registró el peso corporal (PC) desde el destete y hasta los 18 meses de edad y los datos se usaron para estimar la ganancia media diaria (GMD). La condición corporal (CC) se registró cada 14 días, desde 4,4 meses de edad (escala de 1-5; Russel et al., 1969) hasta los 18 meses de edad.

### Variables reproductivas

#### Edad al comienzo de la pubertad

A partir de los 4,4 meses de edad se tomaron muestras de sangre semanalmente ( $132 \pm 1,0$  hasta los  $321 \pm 7,5$  días de edad) para determinar las concentraciones de progesterona en plasma y el inicio de la pubertad (~ 4 a 10 meses de edad).

La sangre se colectó por venopunción yugular, se centrifugó (2,000 g/15 min) a temperatura de laboratorio dentro de la primera hora de la recolección y el plasma se congeló a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta el análisis hormonal (Laboratorio de Endocrinología en la Facultad de Agronomía, UDELAR). La concentración de progesterona



se determinó por radioinmunoensayo (RIA) en fase sólida (Coat and Count, Diagnostic Products Co, Siemens, Estados Unidos). El límite de detección fue de 0,02 ng /mL, y el coeficiente de variación intra e inter-ensayo para el inicio de la pubertad fue de 10% y 8,5% en control bajo (0,6 ng/mL) y 11% y 7,8% en el control alto (7,7 ng/mL). El inicio de la pubertad endócrina se determinó como el primer aumento en la concentración de progesterona en plasma  $\geq 1$  ng/mL, seguido de al menos dos valores consecutivos mayores o iguales a 0,6 ng / mL (Kotsampasi et al., 2009). Adicionalmente, se confirmó el inicio de la actividad ovárica por ultrasonografía transrectal por la presencia de estructuras lúteales en la superficie del ovario.

#### *Actividad ovárica (AO) en la segunda estación reproductiva*

A partir de noviembre (7 de noviembre, 416 días de edad en promedio) y hasta el mes de febrero (20 de febrero, 490 días de edad), se tomaron muestras de sangre a intervalos semanales para determinar la concentración de progesterona en plasma y establecer el comienzo de la actividad ovárica de las corderas en la siguiente estación reproductiva (ver: protocolo experimental)

#### *Tasa ovulatoria (TO)*

La TO se determinó al inicio del otoño (18 meses de edad, 17 de marzo de 2014) por ultrasonografía transrectal con un escáner en modo B (Aloka 500 con una sonda lineal de 7,5 MHz, Tokyo, Japan). El estro se detectó con carneros vasectomizados (relación luz-oscuridad 12h 23/11h 37) y la TO se estimó contando el número de cuerpos lúteos 6 a 7 días después de la segunda inyección de prostaglandina F<sub>2</sub> $\alpha$  (160 mg Delprostenate, Glandinex, Lab. Universal Uruguay).

#### **Recuento de huevos por gramo de parásitos gastrointestinales (FEC, huevos/ g de materia fecal)**

Cada 14 días (desde 30 d post-parto y hasta los 18 meses de edad) se determinó la carga de parásitos gastrointestinales a una muestra de las corderas experimentales (PS, n = 23 y U, n = 34) a través del recuento de huevos por gramo (HPG) de materia fecal (MF), utilizando una precisión de 40 HPG (Lab. de Parasitología de la Facultad de Veterinaria, UDELAR). Se utilizó un tratamiento antihelmíntico selectivo (sistema FAMACHA) en aquellos casos en que la carga individual de parásitos podría comprometer la salud de los animales. Se calculó un índice de dosificación total (IDT = número total de dosificaciones antihelmínticas durante el período experimental dividido por el número total de animales), y un índice de Famacha (IF = número de dosis antihelmínticas selectivas dividido por el número total de corderos) a los efectos de estimar la respuesta inmunitaria de los animales a el desafío parasitario.

Estudios cuantitativos de la infestación por parásitos gastrointestinales en rumiantes han permitido establecer que la distribución de la carga parasitaria dentro de los individuos de una misma población no presenta una distribución normal, y en cambio, es común encontrar altas cargas de parásitos en pocos animales (Nari et al., 2003), por este motivo para el análisis de esta variable se consideraron solo los registros con conteos de huevos superiores a los 500 HPG. Recuentos de HPG inferiores a este valor, generalmente indican bajas cargas parasitarias o animales en un estado de resiliencia, que se considera que no se vería comprometido el comportamiento productivo de los animales (Ueno and Goncalves, 1998).

**Cuadro 1.** Media  $\pm$  (eem) del peso corporal, escala de condición corporal, transformación logarítmica de la cantidad de huevos por gramo de parásitos gastrointestinales en la materia fecal, índice de famacha (IF) e índice de dosificación total (IDT), en las corderas nacidas de ovejas esquiladas pre-parto y esquiladas post-parto.

Parámetros	Esquila Preparto (50 d)	Esquila Postparto (62 d)
Número de corderos	23	34
Peso corporal (kg)	31,1 $\pm$ 0,8	30,7 $\pm$ 0,7
Condición corporal (unidades)	2,0 $\pm$ 0,02	1,9 $\pm$ 0,02
Conteo de huevos log10 (HPG)	3,27 $\pm$ 0,09 <sup>b</sup>	3,34 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>
Número de muestras	104	151
Índice de Famacha (IF)	0,87 <sup>b</sup>	2,14 <sup>a</sup>
Índice de dosificación total (IDT)	4,5 $\pm$ 0,17	5,0 $\pm$ 0,12

**Cuadro 2.** Edad a la pubertad, cantidad de corderas que alcanzaron la pubertad (%), cantidad de corderas que mostraron actividad ovárica en la segunda temporada de reproducción (%), edad al comienzo de la actividad ovárica en la segunda estación reproductiva y tasa ovulatoria (TO, número total de cuerpos lúteos (CL) en relación con el número total de corderas que exhiben celo).

Parámetros	Esquila Preparto (50 d)	Esquila Postparto (62 d)
Número de corderos	23	34
Edad a la pubertad (días)	196,8 $\pm$ 5,6	196,6 $\pm$ 4,4
Pubertad (%)	65,2 % (15/23)	62,8 % (23/34)
Actividad ovárica (%) 2 <sup>da</sup> "estación reproductiva"	100 % (23/23)	100 % (34/34)
Edad (días)	312,9 $\pm$ 10,2	314,5 $\pm$ 8,2
TO (número de cuerpos lúteos (CL))	1,33 $\pm$ 0,07 (65/49)	1,36 $\pm$ 0,06 (91/67)

### Análisis estadístico

Las variables de PC, CC, concentración plasmática de testosterona, los parámetros de desarrollo corporal in vivo (AOB, EGS, P8) y el conteo de HPG se analizaron utilizando un diseño de medidas repetidas utilizando los procedimientos MIXED de SAS. Previo al análisis, los valores de conteo de huevos por gramo se sometieron a transformación logarítmica (Log10 (x+1)) para homogenizar las varianzas. El modelo incluyó el tratamiento de esquila, el número de corderos (únicos versus mellizos) y sus interacciones como efectos fijos; con los corderos dentro

de cada grupo como un efecto aleatorio. Los valores de IDT y IF se analizaron usando GLM con el procedimiento GENMOD, suponiendo una distribución multinomial. La edad en días a la pubertad se analizó por ANOVA con el procedimiento PROC MIXED. Los datos de la tasa ovulatoria se analizaron con un modelo no lineal asumiendo una distribución binomial de la variable utilizando el procedimiento GENMOD. Se utilizó el test de Tukey para la separación de medias ( $P < 0,05$ ), y las diferencias se consideraron significativas a  $P \leq 0,05$  y una tendencia  $P$  de  $\geq 0,05$  y  $\leq 0,1$ . Los valores se presentan como media  $\pm$  error de la media (EEM).

## RESULTADOS

### Peso corporal y condición corporal

Durante el período experimental el tratamiento de esquila no afectó el PC y la CC de las corderas (Cuadro 1).

### Variables reproductivas

El número de corderas que alcanzaron la pubertad en su primer otoño de vida y la edad a la que lo hicieron no fue afectado ni por el tratamiento de esquila ni por la carga fetal (Cuadro 2). El PC a la pubertad fue mayor ( $P = 0,02$ ) en las corderas nacidas de ovejas esquiladas pre-parto temprano, que las de ovejas esquiladas post-parto ( $29,0 \pm 0,5$  vs.  $27,9 \pm 0,6$  kg, PS y U, respectivamente). El PC de las corderas nacidas de partos únicos fue mayor a la pubertad ( $29,1 \pm 0,8$  vs.  $27,7 \pm 0,6$  kg;  $P = 0,02$ ) y alcanzaron la pubertad a edad más temprana ( $P = 0,03$ ;  $188,6 \pm 5,5$  vs.  $204,7 \pm 0,6$  días) que sus contrapartes, las corderas mellizas.

Diecinueve de las 57 corderas estudiadas (33%) no alcanzaron la pubertad en el primer otoño de vida. Ocho (34,7%) de las 23 corderas cuyas madres fueron esquiladas pre-parto (partos únicos = 2 y mellizos = 6) y 11 (32%) de las 34 corderas cuyas madres fueron esquiladas después del parto (partos únicos = 4 y mellizos = 7), no presentaron actividad ovárica en su primer año de vida. Todas las corderas presentaron actividad ovárica en la segunda estación reproductiva de su vida. Las corderas mellizas fueron más precoces en el siguiente otoño ( $297,7 \pm 8,5$  vs.  $329,1 \pm 10,2$  días de edad,  $P = 0,02$ ) y con un PC más bajo ( $38,3 \pm 1,1$  y  $41,3 \pm 1,3$  kg,  $P = 0,10$ ) que las nacidas como únicas (Cuadro 2).

La TO no fue diferente entre las corderas de los diferentes tratamientos (Cuadro 2)

### Recuento de huevos por gramo de parásitos gastrointestinales

El recuento de HPG en la MF presentó una tendencia a ser menor ( $P = 0,07$ ) en las cor-

deras de esquila pre-parto que en las de esquila post-parto (Cuadro 1). Durante el período experimental no se detectaron diferencias en los HPG de progenie nacidas únicas y mellizas. Sin embargo, el conteo de HPG fue afectado significativamente por el tiempo de evaluación ( $P < 0,0001$ ). El IF fue significativamente más alto en las corderas únicas de esquila posparto ( $P = 0,03$ , Cuadro 1) que las de esquila preparto ( $0,5 \pm 0,2$  vs.  $0,8 \pm 0,2$ ). El IDT no fue afectado por los tratamientos.

## DISCUSIÓN

En las condiciones en que se realizó este estudio, la esquila temprano en la gestación no afectó el peso corporal de las corderas en el período del destete hasta los 18 meses de edad. Esta respuesta es similar a la registrada al nacimiento y al destete, y no mostró cambios desde el destete en adelante. En cambio, las corderas nacidas de partos únicos fueron más pesadas que las mellizas durante todo el período de estudio.

El número de corderas que alcanzó la pubertad en el primer otoño de vida y la edad a la cual lo lograron, no fue diferente entre tratamientos. La esquila a los 50 días de gestación coincide con un período de activo crecimiento y desarrollo de tejidos y órganos fetales, especialmente aquellos que integran el sistema reproductivo y los mecanismos neuroendócrinos que lo regulan (Rhind, 2004; Ashworth et al., 2005). Aunque, la etapa de organogénesis fetal es muy sensible a la acción de factores ambientales, el estímulo de la esquila en la gestación temprana no logró cambiar el camino establecido previamente para el desarrollo y comportamiento reproductivo. Es posible, que las prioridades energéticas en la etapa del desarrollo embrionario estén focalizadas en otros órganos y sistemas más importantes para la vida del feto (Orsgerby et al., 2002). Adicionalmente, el bajo número de animales experimentales utilizados también puede representar una limitante para la identificación de posibles efectos de la esquila temprano sobre la progenie.

En este estudio, los corderos nacidos de partos únicos fueron más pesados a la pubertad y más precoces que los mellizos. Esta relación entre el peso corporal y el inicio temprano de la pubertad ya fue mencionada por Foster et al. (1985).

La esquila temprano se asoció con una disminución en el número de huevos por gramo de parásitos gastrointestinales en la materia fecal y con un valor de índice de Famacha más bajo respecto al de las corderas controles. Existe evidencia de que tanto la nutrición (More, 1998) como el estrés (Tuchscherer et al., 2002) pueden afectar el sistema inmune del feto en crecimiento (Liu et al., 2015). De hecho, Cronjé (2003) reportó que la nutrición y el estrés durante la gestación pueden afectar la expresión génica del sistema inmune, y que estos efectos pueden persistir por periodos prolongado en el animal. Por otra parte, Rooke et al. (2010) informaron de incrementos en el recuento de huevos de parásitos gastrointestinales en la MF en corderos menores a un año de edad nacidos de ovejas restringidas nutricionalmente en la primera mitad de la gestación. De todas maneras, los resultados de este estudio deben interpretarse con cautela, y es necesario repetir estos estudios antes de sacar conclusiones.

La esquila en invierno durante la mitad de la gestación incrementa los requerimientos energéticos de la oveja, para poder aumentar la producción de calor con el fin de mantener la temperatura corporal. Sin embargo, los estudios han demostrado que la esquila invernal de ovejas en pastoreo no provoca un aumento en la ingesta. En estas condiciones, las ovejas pueden entrar en un balance energético negativo, por lo cual se va a reducir la energía disponible para la placenta y el feto, y en consecuencia afectando su desarrollo (Kenyon et al., 2003). Sin embargo, cuando la esquila se realiza a los 50 días de gestación, la oveja no va a encontrar restricciones para incrementar el consumo,

siempre que exista una oferta de forraje adecuada. El estrés por frío debido a la esquila produce cambios metabólicos y hormonales en la hembra preñada, que se traducen en incrementos en la concentración plasmática de glucosa (Symonds et al., 1986) y de ácidos grasos no esterificados en la sangre de las ovejas (Sherlock et al., 2003), incrementando el aporte de glucosa a la placenta y consecuentemente su disponibilidad al feto.

Sin embargo, el evento de estrés asociado con la esquila parece ser un evento a corto plazo, del cual la hembra se recupera rápidamente. Por lo tanto, puede que no sea sorprendente, que la esquila en el día 50 de gestación haya tenido poco impacto en la progenie en este estudio. Posiblemente, el estímulo generado por la esquila temprana no fue capaz de establecer un flujo de nutrientes diferencial al feto, de acuerdo con los diferentes tratamientos de esquila. Es posible que los cambios esperados en el crecimiento corporal y el comportamiento reproductivo hayan sido anulados o compensados por la buena nutrición, aún en condiciones de pastoreo.

## CONCLUSIÓN

Bajo las condiciones en que se realizó este estudio, la esquila de ovejas pastoreando pasturas mejoradas a los 50 días de gestación no afectó el crecimiento y el comportamiento reproductivo en la descendencia, desde el destete y hasta los 18 meses de edad. Curiosamente, las corderas cuyas madres fueron esquiladas en el primer tercio de gestación respondieron mejor al desafío de los parásitos gastrointestinales que las corderas nacidas de ovejas esquiladas después del parto. Dado que los parásitos gastrointestinales comprometen gravemente el crecimiento y la salud de los corderos después del destete, y representan una limitación económica importante en la industria ovina, se justifica mayor investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

**Ashworth, C.J.; McEvoy, T.G.; Rooke, J.A.; Robinson, J.J.** 2005. Nutritional programming of physiological systems throughout development. *Trends in Developmental Biology* 1, 117-129.

**Banchero, G. E.; Quintans, G.; Lindsay, D. R.; Milton J. T. B.** 2009. A pre-partum lift in ewe nutrition from a high-energy lick or maize or by grazing *Lotus uliginosus* pasture, increases colostrum production and lamb survival. *Animal* 3:8, 1183-1188. doi:10.1017/S175173110900457

**Banchero, G.; Vázquez, A.; Montossi, F.; De Barbieri, I.; Quintans, G.** 2010. Pre-partum shearing of ewes under pastoral conditions improves the early vigour of both single and twin lambs. *Anim. Prod. Sci.* 50, 309-314. doi: 10.1071/AN09127

**Bauer, M.K.; Harding, J.E.; Bassett, N.S.; Breier, B.H.; Oliver, M.H.; Gallaher, B.H.; Evans, P.C.; Woodall, S.M.; Gluckman, P.D.** 1998. Fetal growth and placental function. *Molecular and Cellular Endocrinology* 140, 115-120. doi: 10.1016/s0303-7207(98)00039-2

**Corner, R.A.; Kenyon, P.R.; Stafford, K.J.; West, D.M.; Oliver, M.H.** 2010. The effect of different types of stressors during mid- and late pregnancy on lamb weight and body size at birth. *Animal* 4, 2065–2070. doi.org/10.1017/S1751731110001321

**Cronjé, P.B.** 2003. Foetal programming of immune competence. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43, 1427-1430. doi.org/10.1071/EA03005

**De Barbieri, I.; Montossi, F.; Dighiero, A.; Martínez, H.; Nolla, M.; Luzardo, S.; Mederos, A.; Zamit, W.; Levratto, J.; Frugoni, J.; Lima, G.; Costales, J.** 2005. Alternativas de la esquila preparto temprana. Evaluación del impacto del tipo de peine. In 'Seminario de Actualización técnica: reproducción ovina. Recientes avances realizados por el INIA, Uruguay'. Serie de actividades de Difusión 401, 104-114. (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) Treinta y Tres y Tacuarembó: Tacuarembó, Uruguay).

**De Barbieri, I.; Montossi, F.; Viñoles, C.; Kenyon, P.R.** 2018. Time of shearing the ewe not only affects lamb live weight and survival at birth and weaning, but also ewe wool production and quality. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 61, 57-66.

**Foster, D.L.; Yellon, S.M.; Olster, D.H.** 1985. Internal and external determinants of timing of puberty in the female. *Journal of Reproduction & Fertility* 75, 327-344.

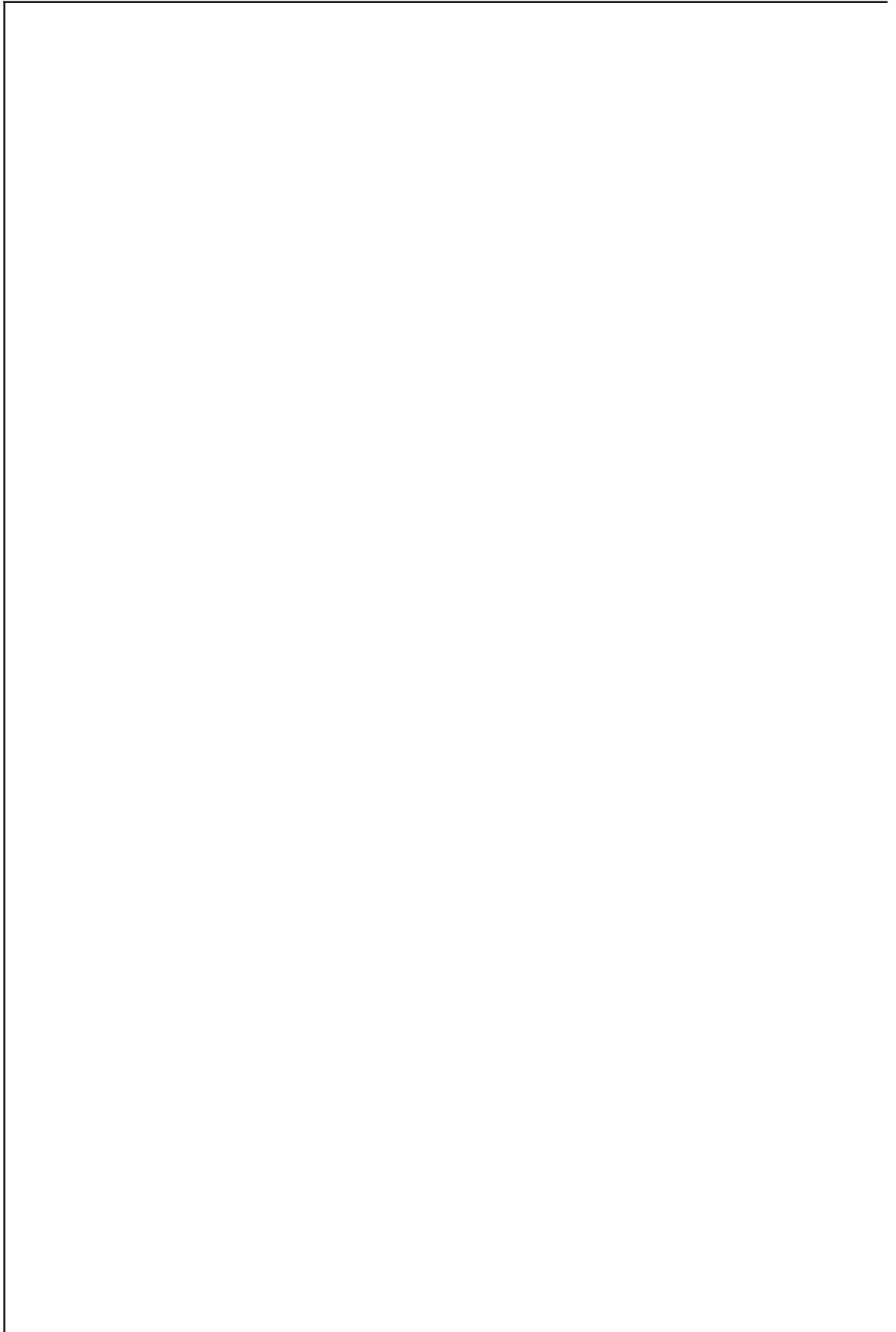
**Gluckman, P. D.; HANSON, M. A.** 2004. Developmental Origins of Disease Paradigm: A Mechanistic and Evolutionary Perspective. *Pediatric Research*, 56(3): 311-317 doi: 10.1203/01.PDR.0000135998.08025.FB

**Greenwood, P.L.; Thompson, A.; Ford, S.P.** 2010. Postnatal consequences of the maternal environment and growth during prenatal life for productivity of ruminants. In *Managing the prenatal environment to enhance livestock productivity* (eds. PL Greenwood, AW Bell, PE Vercoe and GJ Viljoen), pp. 3-36. Springer Science Business Media, Dordrecht, Netherlands.

**Grazul-Bilska, A.T.; Johnson, M.L.; Borowicz, P.P.; Minten, M.; Bilski, J.J.; Wroblewski, R.; Velimirovich, M.; Coupe, L.R.; Redmer, D.; Reynolds, L.P.** 2011. Placental development during early pregnancy in sheep: cell proliferation, global methylation, and angiogenesis in the fetal placenta. *Reproduction* 141: 529-540. doi: 10.1530/REP-10-0505

- Gunn, R.G.; Sim, D.A.; Hunter, E.A.** 1995. Effects of nutrition in utero and in early life on the subsequent lifetime reproductive performance of Scottish Blackface ewes in two management systems. *Animal Science*, 60: 223-230. doi.org/10.1017/S1357729800008389
- Heasman, L.; Clarke, L.; Stephenson, T.J.; Symonds, M.E.** 1999. The influence of maternal nutrient restriction in early to mid-gestation on placental and fetal development in sheep. *Proceedings of the Nutrition Society*, 58: 283-288.
- Hyttel, P.; Sinowatz, F.; Vejlsted, M.** 2010. *Domestic Animal Embryology*. Saunders Elsevier. Chapter 9.
- Ehrhardt, R.A.; Bell, A.W.** 1995. Growth and metabolism of the ovine placenta during mid-gestation. *Placenta*, 16: 727-741.
- Kelly, R.W.** 1992. Nutrition and placental development. *Proceedings of the Nutrition Society of Australia* 17, 203-211.
- Kenyon, P.R.; Morris, S.T.; Revell, D.K.; McCutcheon, S.N.** 2003. Shearing during pregnancy - review of a policy to increase birth-weight and survival of lambs in New Zealand pastoral farming systems. *New Zealand Veterinary Journal*, 51: 200-207. doi.org/10.1080/00480169.2003.36368
- Kotsampasi, B.; Chadio, S.; Papadomichelakis, G.; Deligeorgis, S.; Kaliogiannis, D.; Menegatos, I.; Zervas, G.** 2009. Effects of maternal undernutrition on the hypothalamic-pituitary-gonadal axis function in female sheep offspring. *Reproduction in Domestic Animals*, 44: 677-684. doi: 10.1111/j.1439-0531.2007.01046.x
- López-Mazz, C.; Baldi, F.; Quintans, G., Banchemo, G.** 2017. Shearing ewes in the first third of gestation improves offspring performance. *Anim. Prod. Sci.* 58, 1908-1914
- Liu, Y.; He, S.; Zhang, Y.; Xia, W.; Li, M.; Zhang, C.; Gao, F.** 2015. Effects of intrauterine growth restriction during late pregnancy on the development of the ovine fetal thymus and the T-lymphocyte subpopulation. *American Journal of Reproductive Immunology*, 74: 26-37. doi: 10.1111/aji.12371.
- Montossi, F.; De Barbieri, I.; Digiero, A.; Martínez, H; Nolla, M; Luzardo, S; Mederos, A; San Julian, R; Zamit, R; Levratto, W; Frugoni, J; Lima, G; Costales, J.** 2005. La esquila parto temprana: una nueva opción para la mejora reproductiva ovina. In 'Seminario de Actualización técnica: reproducción ovina. Recientes avances realizados por el INIA, Uruguay'. Serie de actividades de Difusión 401, 85-103. (National Institute of Agricultural Research (INIA): Treinta y Tres y Tacuarembó: Tacuarembó, Uruguay).
- Moore, S.E.** 1998. Nutrition, immunity and the fetal and infant origins of disease hypothesis in developing countries. *Proceedings of the Nutrition Society* 57, 241-247. doi.org/10.1079/PNS19980038
- Morris, S.T.; McCutcheon, S.N.** 1997. Selective enhancement of growth in twin foetuses by shearing ewes in early gestation. *Anim Sci.* 65:105-110. doi.org/10.1017/S1357729800016350
- Nari, A.; Eddi, C.; Martins, J.R.; Benavides, E.** 2003. Resistencia a los Antiparasitarios: Estado actual con énfasis en América Latina. *Estudio FAO Producción y Sanidad Animal* 157. FAO, Rome, Italy, pp.16.
- Morris, S.T.; McCutcheon, S.N.; Revell, D.R.** 2000. Birth weight responses to shearing ewes in early to mid-gestation. *Animal Science* 70, 363-9. doi.org/10.1017/S1357729800054825
- Osgerby, J.; Wathes, C.; Howard, D.C.; Gadd, T.S.** 2004. The effect of maternal undernutrition on the placental growth trajectory and the uterine insulin-like growth factor axis in the pregnant ewe. *Journal of Endocrinology* 182, 89-103 doi: 10.1677/joe.0.1820089

- Paten, A.M.; Asmad, K.; Loureiro, M.F.P.; Kenyon, P.R.; Pain, S.J.; Peterson, S.W.; Pomroy, W.E.; Scott, I.; Blair, H..T** 2011. The effects of dam nutrition during pregnancy on the postnatal growth and puberty attainment of ewe progeny. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 71, 56-58.
- Rhind, S.M.** 2004. Effects of maternal nutrition on fetal and neonatal reproductive development and function. *Animal Reproduction Science* 82-83, 169-181.  
doi: 10.1016/j.anireprosci.2004.04.003
- Reynolds, L.P.; Redmer, D.A.** 1995. Uteroplacental vascular development and placental function. *J. Anim. Sci.* 73(6):1839-51.  
doi: <https://doi.org/10.2527/1995.7361839x>
- Russel, A.J.F.; Doney, J.M.; Gunn, R.G.** 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 72, 451-454.  
<https://doi.org/10.1017/s0021859600024874>
- Rooke, J.A.; Houdijk, J.G.M.; McIlvaney, K.; Ashworth, C.J.; Dwyer, C.M.** 2010. Differential effects of maternal undernutrition between days 1 and 90 of pregnancy on ewe and lamb performance and lamb parasitism in hill or lowland breeds. *Journal of Animal Science* 88, 3833-3842.  
[doi.org/10.2527/jas.2010-2991](https://doi.org/10.2527/jas.2010-2991)
- Sherlock, G.R.; Kenyon, P.R.; Morris, S.T.; Parkinson, T.J.** 2003. Metabolic changes in ewes shorn during mid-pregnancy. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 63:144-148. ISSN 0370-2731/2003
- Smeaton, D.C.; Webby, R.W.; Tarbotton, I.S.; Clayton, J.B.** 2000. The effects of shearing Finnish Landrace x Romney ewes in mid-pregnancy on lamb survival, birthweights and other weights. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 45, 58-60.
- Sphor, L.; Banchemo, G.; Correa, G.; Osorio, M.T.M.; Quintans, G.** 2011. Early prepartum shearing increases milk production of wool sheep and the weight of the lambs at birth and weaning. *Small Ruminant Research* 99, 44-47.  
doi:10.1016/j.smallrumres.2011.03.007
- Symonds, M.; Bryant, M.J.; Lomax, M.A.** 1986. The effect of shearing on the energy metabolism of the pregnant ewe. *Br J Nutr.* 56 (3):635-43. doi: 10.1079/BJN19860144
- Thompson, G.E.; Bassett, J.M.; Samson, D.E.; Slee, J.** 1982. The effects of cold exposure of pregnant sheep on foetal plasma nutrients, hormones and birth weight. *Br. J. Nutr.* 48, 59-64.
- Tuchscherer, M.; Kanitz, E.; Otten, W.; Tuchscherer.** 2002. Effects of prenatal stress on cellular and humoral immune response in neonatal pigs. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 86, 195-203.  
doi: 10.1016/s0165-2427(02)00035-1
- Ueno, H.; Goncalvez, P.C.** 1998. Manual para diagnóstico de helmintos de ruminantes. 4th ed. Japan International Cooperation Agency (JICA), Tokyo, Japan. 143p.





# EFFECTOS DE LA SUBNUTRICIÓN DURANTE LA GESTACIÓN SOBRE EL DESARROLLO DEL APARATO REPRODUCTOR DEL CORDERO

A. Bielli<sup>1</sup>; R. Pérez-Clariget<sup>2</sup>

## RESUMEN

La programación fetal por subnutrición se refiere a los efectos de la desnutrición en una etapa temprana sobre el desarrollo de los órganos. La cría de ovejas en Uruguay ocurre normalmente en otoño, con partos a fines del invierno o principios de la primavera. Dado que la producción y la calidad del pasto son menores en invierno, la mayoría de las ovejas preñadas están sujetas a restricción de nutrientes. En el presente trabajo se presentan cuatro experimentos que describen los efectos de la desnutrición durante la gestación en el desarrollo de los órganos reproductivos de los corderos. Nuestra hipótesis es que la subnutrición materna afecta el desarrollo de los órganos reproductivos en corderos machos. Tres de los experimentos se llevaron a cabo en campo natural en Uruguay y uno de ellos se realizó en condiciones controladas en un galpón. Nuestros resultados en fetos de 70 días, en corderos recién nacidos, así como corderos de 100 y 200 días indican que la desnutrición durante la vida temprana trae como resultado menor tamaño testicular y de genitales externos, menor circunferencia escrotal y menor número de células de Sertoli que pueden limitar el potencial reproductivo de los carneros en la vida adulta.

**Palabras clave:** restricción nutricional, programación fetal, desarrollo testicular, ovinos.

## ABSTRACT

Fetal programming by undernourishment refers to the effects of early life subnutrition on organ development later in life. Sheep breeding in Uruguay occurs normally in autumn, with parturitions in late winter or early

spring. Since pasture production and quality is lowest in winter, most pregnant sheep are subject to nutrient restriction. We hereby present four experiments which describe deleterious effects of undernourishment during gestation on reproductive organs development of the lambs. We hypothesized that intrauterine subnutrition affects reproductive organs development in male lambs. Three experiments were carried out on natural pasture in Uruguay, and one of them was carried out under indoors, controlled conditions. Our results on 70 day fetuses, newborn lambs, as well as 100 and 200 days old lambs indicate that subnutrition during early life determines smaller testes and external genitalia, lower scrotal circumference, and lower numbers of Sertoli cells which may limit the reproductive potential of rams in adulthood.

**Keywords:** nutritional restriction, fetal programming, testicular development, sheep.

## INTRODUCCIÓN

El concepto de programación fetal refiere a alteraciones que ocurren en el desarrollo intrauterino de un individuo debido a factores ambientales durante la gestación de la madre, tales como la nutrición (en aspectos cuali y cuantitativos), el estrés, contaminantes tóxicos, etc. La subnutrición durante la gestación genera restricciones intrauterinas que alteran el desarrollo embrionario-fetal y obligan al nuevo producto a priorizar determinados órganos, como los del sistema nervioso central, por encima de otros como el hígado, los genitales y los músculos (Nathanielsz y Hanson, 2003). Esta restricción en humanos tiene efectos de largo plazo sobre la descendencia que ve comprometida

<sup>1</sup> Departamento de Morfología y Desarrollo, Facultad de Veterinaria, Montevideo, Uruguay

<sup>2</sup> Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay.

su salud (Barker, 2001). En ovinos, además, restringe su potencial productivo (Greenwood y Bell, 2003) y el potencial reproductivo de las hembras (Rhind *et al.*, 1998). Los efectos de la restricción nutricional intrauterina dependerán del momento en que la interferencia suceda, ya que el desarrollo de los órganos y sistemas tiene diferentes cronologías (Burton y Fowden, 2012). En la figura 1 se presenta la cronología del desarrollo del aparato reproductor del carnero. La interferencia en el desarrollo embrionario-fetal produce en órganos y tejidos cambios histomorfológicos, fisiológicos y moleculares responsables de las alteraciones en el bienestar, salud y capacidades productiva y reproductiva de la descendencia en la etapa adulta.

Las espermatogonias son las células de la línea germinal testicular que darán origen a los espermatozoides y mantienen la capacidad de multiplicarse durante toda la vida reproductiva del animal. El macho, a diferencia de la hembra, mantiene al nacimiento las espermatogonias activas, por lo que retiene la capacidad de desarrollar a la pubertad toda la línea espermatogénica (desde espermatogonia a espermatocito, espermátida y espermatozoide). Esta diferencia con la hembra podría explicar los efectos menos dramáticos de la restricción nutricional intrauterina en las crías machos comparado con las crías hembras (Rae *et al.*, 2002). Sin embargo, se han observado efectos de la subnutrición materna sobre el aparato reproductor del macho. En efecto, ratas gestantes alimentadas con una dieta hipocalórica producen crías con retardo en el crecimiento testicular y pubertad a edad más avanzada (Leonhardt *et al.*, 2003). Mientras que, dietas hipoproteicas en la misma especie inducen un menor número de células de Sertoli, menor motilidad y concentración espermática en el testículo y en la cola del epidídimo y mayor frecuencia de anomalías (Toledo *et al.*, 2011). La espermatogénesis a nivel local está regulada por complejas interacciones entre las células de Sertoli y las células de la línea ger-

minal. El número de células de Sertoli en el testículo está altamente correlacionado con el tamaño testicular y la producción máxima de espermatozoides (Sharpe, 1994). La multiplicación de estas células comienza en la etapa embrionaria-fetal, cesa poco antes de la pubertad (56 días de edad en el cordero) y no se evidencia mitosis más allá de esa edad (Steinberger *et al.*, 1971). Por lo tanto, un menor número de células de Sertoli en el adulto limita la producción diaria de espermatozoides.

La cría ovina en nuestro país se realiza en condiciones de pastoreo extensivo, en suelos pobres y con el campo natural como la principal fuente de forraje. La producción y calidad del forraje producido por éste sufre variaciones estacionales siendo el invierno la estación en la que se registran los menores valores (Bermúdez y Ayala, 2005). Considerando que gran parte de las majadas son encarneradas en otoño, la gestación de las ovejas transcurre durante el periodo de menor producción y calidad de forraje, provocando una subnutrición de profundidad variable. En estas condiciones se ha demostrado que la pubertad de las crías machos se ve retrasada (Castrillejo *et al.*, 1995).

Nuestro equipo ha hipotetizado desde la década del 90 que la subnutrición de las ovejas gestantes afecta el desarrollo del aparato reproductor de sus hijos machos explicando, al menos en parte, diferencias en el potencial reproductivo de los carneros y que en nuestras condiciones de producción, la subnutrición de las ovejas gestantes tiene efectos indeseables sobre la descendencia.

En el presente trabajo se presentan resultados obtenidos por nuestro equipo en orden cronológico, trabajando en condiciones de pastoreo en Uruguay (Experimentos 1, 3 y 4) y en condiciones controladas (Experimento 2). En todos los trabajos utilizamos ovejas multíparas y fetos o corderos machos de gestación o parto simple. Posteriormente se hará una discusión general de los resultados obtenidos hasta el presente.

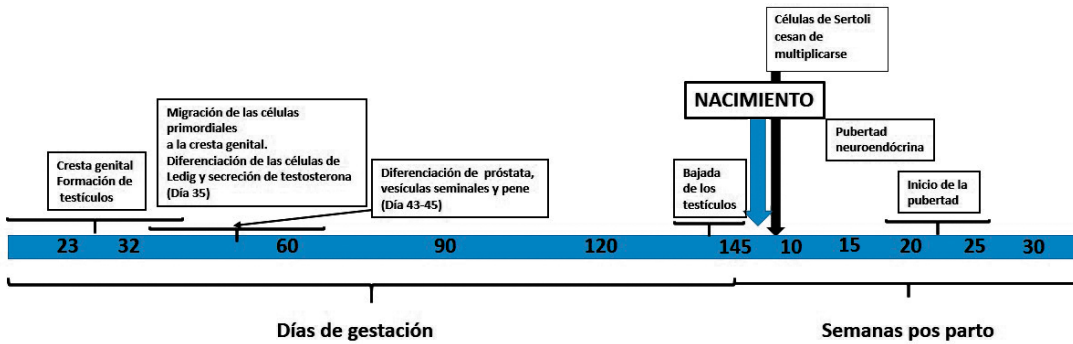


Figura 1. Desarrollo del aparato reproductor del macho ovino (modificado de Zambrano *et al.*, 2014).

## EXPERIMENTO 1

### Hipótesis y objetivos

En este trabajo desafiamos la hipótesis de que el plano nutricional de la oveja durante la gestación y la lactación influye el desarrollo testicular de sus crías. El objetivo fue comparar dos manejos nutricionales en ovejas desde el diagnóstico de gestación (60 días) hasta los 100 días pos parto sobre el peso corporal, concentraciones séricas de testosterona y hormona folículo estimulante (FSH), peso del testículo y el epidídimo, y la histología testicular de sus crías. El trabajo fue publicado por Bielli *et al.* (2001).

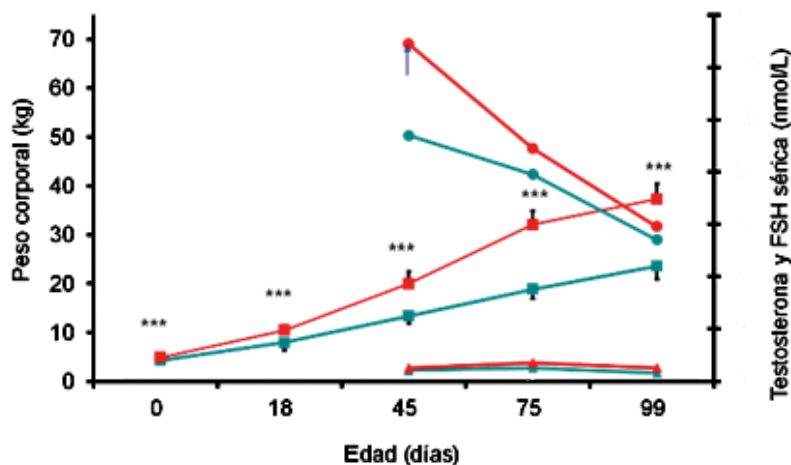
### Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en un establecimiento comercial ubicado en Carlos Reyles, Durazno (330 S). Los suelos dominantes eran basalto de moderada profundidad. Se utilizaron 26 ovejas Corriedale que habían sido servidas en febrero con un solo carnero de la misma raza y habían pastoreado sobre campo natural desde su destete. Desde abril, fueron asignadas al azar a dos planos nutricionales: a) Grupo CN ( $n = 12$ ): pastoreo sobre campo natural (2-3 animales/ha); b) Grupo CNM ( $n$

= 14): pastoreo sobre campo natural mejorado (trébol rojo, avena y raigrás) a la misma carga animal, más un kilo/animal/día de un suplemento a base de grano de cebada y trigo (10% de proteína cruda (PC) y 2,5 Mcal/kg). La parición se extendió por 9 días (30 de julio al 7 de agosto). Los tratamientos se prolongaron hasta la castración de los corderos a los 100 días de edad.

### Resultados

El peso de los corderos del Grupo CNM fue mayor ( $P < 0,001$ ) al nacimiento, durante la lactancia y a los 99 días de edad, si bien ambos grupos aumentaron de peso durante el periodo estudiado (Figura 2). No se observaron diferencias en la concentración sérica de testosterona ni durante la lactancia (Edad: 45, 75 y 99 días) ni entre grupos. La concentración sérica de FSH disminuyó en ambos grupos pero tendió a ser mayor en el Grupo CNM el día 45 (Figura 2). La estructura del parénquima testicular fue diferente entre grupos; el peso testicular fue mayor ( $P < 0,001$ ) en los corderos CNM que en los CN y se observó una tendencia ( $P = 0,07$ ) a que los primeros presentaran mayor número de células de Sertoli en el tejido testicular que los segundos (Cuadro 1).



**Figura 2.** Experimento 1 - Peso y concentraciones séricas de testosterona y FSH en corderos cuyas madres pastorearon sobre campo natural (azul) o sobre campo mejorado + suplemento (rojo) desde el diagnóstico de gestación hasta los 100 días pos parto (adaptado de Bielli *et al.*, 2001).

**Cuadro 1.** Experimento 1 - Peso de testículos y epidídimo e histología testicular de corderos de 100 días de edad hijos de madres que pastorearon sobre campo natural (Grupo CN) o sobre campo natural mejorado + suplemento (Grupo CNM) desde el diagnóstico de gestación hasta los 100 días pos parto

Variable	Grupo CN	Grupo CNM	Valor de P
<b>Peso testicular (gr)</b>			
Derecho	11,73 ± 6,28	41,38 ± 13,55	0,001
Izquierdo	9,96 ± 4,36	36,77 ± 9,26	0,0001
<b>Volumen testicular (ml)</b>			
Derecho	11,67 ± 6,59	41,67 ± 16,02	0,002
Izquierdo	9,50 ± 5,36	35,71 ± 12,72	0,001
Peso epidídimo derecho (gr)	2,48 ± 0,64	4,89 ± 0,49	0,0001
Diámetro de los túbulos (µm)	72,61 ± 19,66	113,92 ± 26,94	0,01
<b>Volumen (ml)</b>			
Epitelio seminífero	7,57 ± 3,70	27,85 ± 7,10	0,001
Luz de los túbulos	0,22 ± 0,30	3,64 ± 3,79	0,114
Núcleos células Sertoli	1,65 ± 0,46	3,20 ± 0,78	0,007
Núcleos células Leydig	0,04 ± 0,02	0,13 ± 0,04	0,001
Intersticio	3,90 ± 1,16	10,97 ± 4,19	0,018
<b>Número de células (x 109)</b>			
Sertoli	2,07 ± 0,46	3,77 ± 1,57	0,071
Leydig	1,51 ± 0,29	3,54 ± 0,37	0,0001

Modificado de Bielli *et al.* (2001)

## EXPERIMENTO 2

### Hipótesis y objetivos

Los datos del experimento anterior indicaban que la alimentación de la madre durante la gestación y la lactancia influía sobre el desarrollo del aparato reproductor de sus hijos. Por lo que, en este segundo trabajo decidimos aislar los efectos de la gestación y trabajar en condiciones controladas para evitar posibles interferencias que se producen cuando se trabaja en pastoreo. La hipótesis que desafiamos fue que la subalimentación de ovejas gestantes afecta el desarrollo del aparato reproductor de sus crías. El objetivo del trabajo fue comparar el desarrollo testicular de corderos hijos de ovejas que habían sido alimentadas a 110% y 70% de sus requerimientos de energía metabolizable. El trabajo fue publicado por Bielli *et al.* (2002).

### Materiales y métodos

El protocolo experimental fue aprobado por el Comité de Ética Animal de la Universidad de Western Australia, Perth y realizado en las instalaciones de esa universidad (32° S). Se utilizaron 25 ovejas Merino Australiano, ubicadas en corraletas individuales dentro de un edificio que las aislaba de las condiciones exteriores. El fotoperíodo (horas de exposición a la luz) fue ajustado para que

simulara el fotoperíodo natural. Las ovejas fueron asignadas al azar a dos tratamientos nutricionales desde la semana 10 hasta el parto: a) Grupo 110% ( $n = 12$ ): alimentación con 110% de sus requerimientos de energía metabolizable; b) Grupo 70% ( $n = 13$ ): alimentación con 70% de sus requerimientos de energía metabolizable. La dieta desde la semana 10 a la 17 consistió en 80% paja de cereal y 20% semilla de lupino más minerales (8,7 MJ/kg y 12% PC) y de la semana 18 al parto en 48% paja de cereal, 25% semilla de lupino, 25% grano de cebada y 2% minerales (9,8 MJ/kg y 14% PC). La cantidad de alimento se ajustaba cada semana en función del peso de cada oveja. Los corderos fueron sacrificados utilizando solución de pentobarbital intravenosa 48 h después del parto.

### Resultados

El peso al nacimiento fue mayor en el Grupo 110% que en el 70% (Grupo 110%:  $5,45 \pm 0,08$  kg vs. Grupo 70%:  $4,78 \pm 0,05$  kg,  $P < 0,05$ ). La histología testicular fue similar entre los dos grupos pero el peso de ambos testículos tendió ( $P = 0,08$ ) a ser mayor en el Grupo 110% y tanto el volumen de los cordones testiculares como el número de células de Sertoli fueron mayores ( $P < 0,03$ ) en este grupo que en los corderos del Grupo 70% (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Experimento 2 - Peso del testículo e histología testicular de corderos a las 48 h de edad hijos de madres alimentadas a 110 % (Grupo 110) o 70 % (Grupo 70) de los requerimientos de energía metabolizable desde la semana 10 de gestación hasta el parto

Variable	Grupo 70	Grupo 110	Valor de P
Peso testicular (g)			
Derecho	0,80 ± 0,04	0,92 ± 0,05	0,09
Izquierdo	0,76 ± 0,07	0,88 ± 0,04	ns
Ambos	1,55 ± 0,11	1,81 ± 0,09	0,08
Diámetro de los cordones (µm)	28,73 ± 0,55	27,64 ± 0,26	Ns
Volumen de los cordones (ml)	0,30 ± 0,02	0,36 ± 0,02	0,03
Volumen del intersticio (ml)	0,51 ± 0,03	0,56 ± 0,03	Ns
Número de células de Sertoli por testículo (x 10 <sup>8</sup> )	34,52 ± 2,03	42,98 ± 2,45	0,018

Modificado de Bielli *et al.* (2002)

## EXPERIMENTO 3

### Hipótesis y objetivos

En el trabajo anterior habíamos demostrado que el plano nutricional de las madres durante la gestación afectaba el desarrollo testicular en corderos neonatos, por lo que nos propusimos evaluar la importancia de la alimentación durante la primera mitad de la gestación sobre el desarrollo del aparato reproductor del cordero macho. Nuestra hipótesis fue que una oferta de forraje baja de campo natural influye en el desarrollo del aparato reproductor de los corderos neonatos y que esta alteración está ya presente en fetos de 70 días. El objetivo del trabajo fue comparar el desarrollo testicular de fetos de 70 días y corderos neonatos hijos de parto simple de ovejas que habían pastoreado campo natural a dos ofertas de forraje contrastantes. El trabajo fue parcialmente publicado por Bielli *et al.* (2013), Bielli *et al.* (2016), Pérez-Clariget *et al.* (2016).

### Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt, Facultad de Agronomía, Udelar, Cerro Largo (32° S) y los procedimientos utilizados aprobados por la Comisión Honoraria de Experimentación Animal de la Universidad de la República

(CHEA, Uruguay). Los tratamientos y metodología están descritos en Freitas de Melo *et al.* (2015). Brevemente, se utilizaron 36 ovejas Corriedale que fueron asignadas al azar a dos diferentes ofertas de forraje de campo natural: a) Alta oferta (Grupo AOF,  $n = 18$ ): 10 kg MS/100 kg PV/día desde el día -23 de la concepción hasta el Día 96 de la gestación y 12 kg MS/100 kg PV/día desde el día 97 hasta el 122; b) Baja oferta de forraje (Grupo BOF,  $n = 18$ ): 5 kg MS/100 kg PV/día y 8 kg MS/100 kg PV/día durante los mismos periodos que el grupo anterior. Para aplicar los tratamientos se utilizaron 32 ha de campo natural dividido en 3 bloques subdivididos a su vez en dos por alambrado eléctrico (diseño experimental de bloques al azar con dos tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento) y ovejas volantes para ajustar mensualmente la carga. El pastoreo fue continuo y durante todo el periodo las ovejas tuvieron libre acceso al agua. En el cuadro 3 se presenta la disponibilidad y altura del campo natural y los requerimientos energéticos y proteicos cubiertos por los tratamientos, mientras que en el cuadro 4 se muestra la composición química del campo natural. La mitad de las ovejas (9/tratamiento, 3/repeticiones) fueron sacrificadas por faena humanitaria (insensibilización previa al desangrado y consumo posterior) a los 70 días de gestación. El resto de las ovejas fueron esquiladas el día 123 de gestación. Todas

las ovejas fueron suplementadas con 200 gr de afrechillo de arroz (88% MS, 14% PC, 9% FDA y 24% FDN) y 50 mL de glicerina cruda (77% de glicerol, 3 % agua, 6 % cenizas, 13 % materia grasa y 1% de metanol por día y por animal) desde 5 días antes de la esquila hasta el parto. Después de la esquila todas las ovejas pastorearon juntas una pradera de *Festuca arundinacea* [oferta de forraje: 14 kg MS/100 kg de PV/día, (1360,68 ± 77,74

kg MS/ha, altura: 13,20 ± 0,75 cm, 12,55% PC, 48,59% FDN, 22,56% FDA, 10,82% cenizas)]. Los requerimientos energéticos y proteicos cubiertos por la festuca y la suplementación (200 g afrechillo de arroz + 50 mL de glicerol/oveja/día) fueron de 202% y 160% respectivamente. A las 12h post parto los 18 corderos (9/tratamiento, 3/repetición) fueron sacrificados utilizando tiopental intravenoso.

**Cuadro 3.** Experimento 3 - Disponibilidad y altura del campo natural, y requerimientos energéticos y proteicos cubiertos por los tratamientos

Tratamiento	Mes	Días de gestación	Disponibilidad (kg MS/ha)	Altura(cm)	Requerimientos	
					Energéticos	Proteicos
AOF	Marzo	-23 - 24	1599,2±35,3	10,0±1,0	136%	108%
	Mayo	25 - 58	1752,8±268,5	15,5±1,5	126%	99%
	Junio	59 - 96	1523,1±173,9	13,4±0,1	102%	83%
	Julio	97-122	1245,6±146,8	13,0±0,4	108%	69%
BOF	Marzo	-23 - 24	1599,2±35,3	10,0±1,0	106%	102%
	Mayo	25 - 58	1232,7±59,5	11,6±0,1	83%	70%
	Junio	59 - 96	958,7±107,6	9,6±0,8	74%	67%
	Julio	97-122	763,2±47,9	7,9±0,6	84%	50%

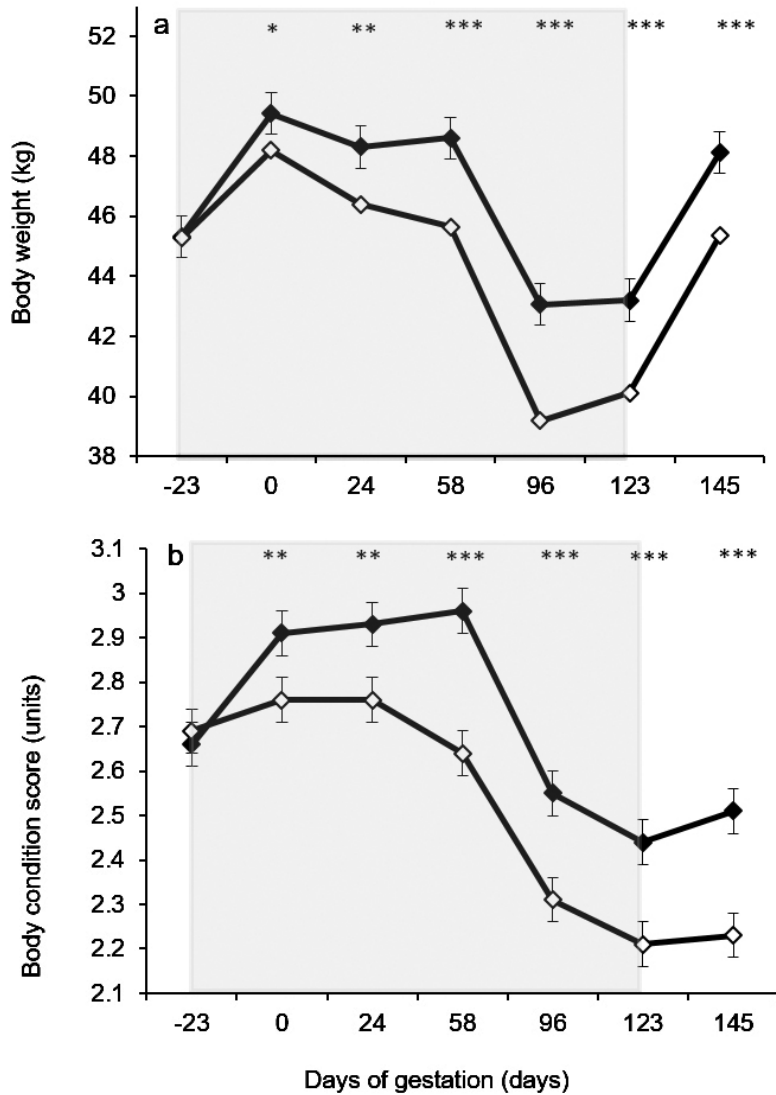
**Cuadro 4.** Experimento 3 - Composición química del campo natural.

Tratamiento	Mes	MS (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Cenizas (%)
AOF	Marzo	92,5	9,8	73,9	35,3	7,9
	Junio	90,6	8,3	70,2	34,0	6,5
	Julio	91,7	6,9	75,1	37,5	6,7
BOF	Marzo	92,5	9,8	73,9	35,3	7,9
	Junio	90,1	8,2	73,1	35,4	6,1
	Julio	90,5	6,5	75,9	37,6	6,3

## Resultados

Las ovejas del Grupo AOF sacrificadas a los 70 días fueron más pesadas y tuvieron mayor condición corporal (CC) al momento del sacrificio que las de BOF (AOF: 48,8 ± 1,0 kg y 3,0 ± 0,06 vs. BOF: 45,3 ± 0,9 kg y 2,54 ± 0,05 unidades, PV y CC, respectivamente; P < 0,0001). Las ovejas del Grupo AOF que llegaron al parto también fueron más pesadas y tenían mayor (P>0,001) CC que las ovejas

de BOF desde el día de la concepción hasta el parto (Figura 3). Los fetos de BOF presentaron menor (P<0,0001) desarrollo de sus órganos genitales y una tendencia (P=0,08) a que el diámetro de los cordones testiculares fuera menor que en los corderos AOF. Mientras que los corderos neonatos pesaron menos al nacer, sus testículos fueron más livianos (P<0,05) y tendieron a tener menos células de Sertoli (P=0,08). Los resultados se presentan en el cuadro 5.



**Figura 3.** Experimento 3 - Peso (a) y condición corporal (b) de ovejas que pastorearon a 10-12 kg MS/100 kg PV/día (■) o 5-8 kg MS/100 kg PV/día (□) de campo natural. El día 0 corresponde al día de la concepción. El área sombreada corresponde al periodo experimental. Los asteriscos indican diferencias significativas entre grupos dentro del mismo día de gestación (\* P<0,05; \*\* P<0,01, \*\*\* P<0,001).



**Cuadro 5.** Experimento 3: Peso corporal y dimensiones del aparato genital en fetos de 70 días, peso e histología testiculares y dimensiones del aparato genital de corderos neonatos cuyas madres pastorearon a 10-12 kg MS/100 kg PV/día (AOF) o 5-8 kg MS/100 kg PV/día desde 23 días antes de la concepción.

Variable	AOF	BOF	P-valor
<b>Fetos 70 días</b>			
Peso (gr)	152,1 ± 3,57	143,7 ± 3,03	0,10
Peso testicular (gr)	0,043 ± 0,002	0,041 ± 0,002	0,40
Diámetro de los cordones (µm)	30,66 ± 0,56	29,18 ± 5,63	0,08
Volumen de los cordones (%)	0,0117 ± 0,0002	0,0110 ± 0,0002	0,49
Número de células de Sertoli (x109)	3,13 ± 0,14	4,28 ± 0,03	0,46
Número de gonocitos (x 107)	7,12 ± 1,09	6,75 ± 1,09	0,82
Longitud pene (cm)	2,49 ± 0,09	1,99 ± 0,07	0,001
Longitud escroto (cm)	1,34 ± 0,049	1,08 ± 0,041	0,001
Base escroto (cm)	1,07 ± 0,033	0,87 ± 0,029	0,001
<b>Corderos neonatos</b>			
Peso (kg)	5,05 ± 0,17	4,51 ± 0,17	0,02
Peso testicular (kg)	1,92 ± 0,08	1,61 ± 0,08	0,02
Volumen de cordones (%)	0,48 ± 0,05	0,40 ± 0,05	0,02
Número de células de Sertoli (x109)	2,3 ± 1,7	2,6 ± 1,5	0,08
Número de gonocitos (x109)	1,5 ± 0,8	1,2 ± 0,7	0,04
Longitud pene (cm)	7,55 ± 0,41	6,27 ± 0,42	0,05
Longitud escroto (cm)	4,75 ± 0,26	4,42 ± 0,27	0,40
Base escroto (cm)	3,49 ± 0,20	2,88 ± 0,21	0,05
Peso de escroto (gr)	9,84 ± 0,60	8,21 ± 0,60	0,07

## EXPERIMENTO 4

### Hipótesis y objetivos

Los resultados de los trabajos anteriores mostraron que la alimentación de las madres tiene un claro efecto sobre el desarrollo del aparato reproductor de las crías, siendo la gestación un periodo clave. En este trabajo quisimos profundizar el conocimiento sobre el efecto de la oferta de forraje de campo natural y evaluar si su efecto sobre el desarrollo reproductivo se mantenía cuando los corderos alcanzaban los 200 días, aproximadamente la edad en que presentan la pubertad (Castrillejo *et al.*, 1995). Nuestra hipótesis fue que una baja oferta de forraje incremental de campo natural desde el día 30 de ges-

tación hasta el parto influye negativamente en el desarrollo del aparato reproductor de los corderos a la pubertad. El objetivo fue comparar el efecto de dos ofertas de forraje incrementales de campo natural en ovejas desde el día 30 de gestación hasta el parto sobre el desarrollo del aparato reproductor de corderos de 200 días de edad. El trabajo fue parcialmente publicado por Bielli *et al.* (2018).

### Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la Estación Experimental Bernardo Rosengurt, Cerro Largo, Facultad de Agronomía, Udelar (32° S) y los procedimientos utilizados fueron aprobados por la CEUA, Facultad de Agronomía, Udelar.

Se utilizaron 15 corderos Corriedale cuyas madres se asignaron al azar a dos ofertas incrementales de campo natural desde el día 30 al 143 de gestación: i) Alta oferta incremental (Grupo AOFI;  $n = 8$ ): 14 kg de MS/100 kg PV/día desde el día 30 al 60 de gestación (finales de mayo - junio), 15 kg MS/100 kg de PV/día del día 61 a 100 y 20 kg de MS/100 kg PV/día desde el día 101 al 143; ii) Baja oferta incremental (Grupo BOFI;  $n = 7$ ): 6, 5 y 10 kg MS/100 kg PV/día durante los mismos periodos, respectivamente. Desde el día 100 hasta 72h postparto las ovejas fueron suplementadas con 300 gr de afrechillo de arroz/animal/día (88% MS, 14% PC, 9% FDA y 24% FDN). La disponibilidad, altura del forraje y los requerimientos cubiertos por la dieta se presentan en el cuadro 6; la composición química del forraje ofrecido se presenta en el

cuadro 7. Desde el día 143 de gestación hasta el destete los animales pastorearon campo natural a una oferta no restrictiva y continuaron siendo suplementadas (300 gr afrechillo de arroz/animal/día). A los 3 meses de edad cuando los corderos fueron destetados se los trasladó a la Estación de Prueba, Montevideo, Facultad de Agronomía, Udelar (34° 54' S). Fueron alojados en corraletas individuales y alimentados *ad libitum* con mezcla de fardo de alfalfa y ración comercial completamente mezclada (16% PC, 2% extracto etéreo, 19% fibra cruda, 9% minerales) en relación 20:80. A los 200 días de edad fueron sacrificados por faena humanitaria en la Unidad de Faena Móvil de INAC, ubicada en el Instituto de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Udelar, Libertad. Por más información ver Ithurralde *et al.* (2019).

**Cuadro 6.** Experimento 4 - Disponibilidad y altura del campo natural, y requerimientos energéticos y proteicos cubiertos por los tratamientos

Tratamiento	Mes	Días de gestación	Disponibilidad (kg MS/ha)	Altura (cm)	Requerimientos	
					Energéticos	Proteicos
OF	Junio	30 - 60	2208,2 ± 268,5	15,5±1,5	175	117
	Julio	61 -100	2062,5 ± 173,9	13,4±0,1	134	78
	Agosto	101 - 143	2503,1 ± 146,8	13,0±0,4	165	92
OF	Junio	30 - 60	2135,4 ± 35,3	10,0±1,0	122	76
	Julio	61 -100	1738,3 ± 59,5	11,6±0,1	69	41
	Agosto	101 - 143	2503,1 ± 107,6	9,6±0,8	156	88

**Cuadro 7.** Experimento 4 - Composición química del campo natural

Tratamiento	Mes	MS (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)
AOF	Junio	91,2	7,3	71,0	35,8
	Julio	93,6	5,8	74,0	37,5
	Agosto	96,2	6,6	72,3	39,7
BOF	Junio	91,2	6,7	72,1	37,1
	Julio	94,5	6,4	72,5	39,2
	Agosto	96,2	6,6	72,3	39,7

## Resultados

Las madres de los corderos AOFI tendieron a ser más pesadas que las de BOFI (AOFI:  $44,7 \pm 0,68$  kg vs. BOFI:  $42,72 \pm 0,70$  kg;  $P = 0,06$ ) y al comienzo del último tercio de gestación tenían mayor CC (AOFI:  $3,2 \pm 0,1$  vs. BOFI:  $2,9 \pm 0,1$ ;  $P < 0,05$ ). Los corderos del Grupo AOFI fueron también más pesados que los de BOFI (AOFI:  $26,76$  kg vs. BOFI:  $22,55$  kg, en promedio:  $1,60$  kg;  $P = 0,016$ ). Si bien, no se observaron diferencias al nacer, ni a los 45 días de edad, los corderos AOFI fueron más pesados al destete (AOFI:  $20,3 \pm 0,9$  kg vs. BOFI:  $15,9 \pm 0,9$  kg,  $P < 0,05$ ) y durante toda la fase de engorde que los de BOFI (AOFI:  $33,3 \pm 1,4$  kg vs. BOFI:  $28,4 \pm 1,4$  kg,  $P < 0,05$ ). Entre los 180 y 200 días de edad, los corderos AOFI tendieron a tener una circunferencia escrotal mayor (AOFI:  $31,7 \pm 2,0$  cm vs. BOFI:  $26,6 \pm 1,9$  cm;  $P = 0,07$ ), presentaron una mayor distancia ano genital (AOFI:  $40,89 \pm 1,21$  cm vs. BOFI:  $37,38 \pm 1,22$  cm;  $P = 0,04$ ) pero no se observaron diferencias en el largo del pene (AOFI:  $12,4 \pm 0,5$  cm; BOFI:  $12,2 \pm 0,5$  cm;  $P = 0,7$ ). La electroeyaculación el día anterior al sacrificio permitió extraer plasma seminal de todos los animales, pero solo dos corderos de AOFI (25%,  $P = 0,095$ ) presentaron espermatozoides en el eyaculado. Al análisis histológico de los testículos, observamos que tanto el diámetro de los túbulos seminíferos (AOFI:  $369,69 \pm 19,018$   $\mu\text{m}$  vs. BOFI:  $313,44 \pm 17,61$   $\mu\text{m}$ ,  $P = 0,05$ ) como el volumen porcentual del parénquima testicular ocupado por epitelio seminífero (AOFI:  $51,58 \pm 1,65$  % vs. BOFI  $46,18 \pm 1,76$  %) fueron mayores ( $P = 0,04$ ) en los corderos AOFI que en los BOFI. Por el contrario, no encontramos diferencias en el volumen porcentual del tejido limitante ( $P = 0,52$ ), el intersticio testicular ( $P = 0,33$ ) o las células intersticiales de Leydig ( $P = 0,92$ ).

## DISCUSIÓN

Los datos tomados en su conjunto permiten confirmar que la subnutrición de las madres afecta el desarrollo del aparato reproductor de sus crías machos. Los resultados son consistentes entre los distintos experimentos y edades estudiadas y demuestran que la restricción nutricional de las madres durante la gestación tiene impacto negativo sobre el desarrollo del aparato reproductor durante la vida embrionaria - fetal y comienza a ser manifiesta en fetos de 70 días extendiéndose por lo menos hasta la edad a la pubertad (200 días de edad). Esta interferencia en el desarrollo intrauterino se manifiesta primero en los órganos genitales externos, los que sufren un fuerte impacto en madres sub alimentadas durante los primeros dos meses de gestación: pene y escroto son menos priorizados en la distribución de nutrientes que el testículo. Si se tiene en cuenta que el testículo es importante para el éxito reproductivo en la medida en que el número diario de espermatozoides producidos puede afectar el número de hembras que puede preñar un carnero, esto parece lógico. Sobre todo porque, en contraposición al tamaño testicular, el tamaño de los genitales externos no tendría, hasta donde sabemos, efecto sobre el éxito reproductivo. Sin embargo, la futura base histológica-funcional de la espermatogénesis, los cordones testiculares (que se convertirán posteriormente en túbulos seminíferos), parecen recibir también el impacto de la subnutrición de sus madres a tan solo 70 días de vida intrauterina. Tanto al nacer como a la pubertad los testículos de los hijos de madres subalimentadas presentan morfología que indica una futura espermatogénesis disminuida. Las células de Sertoli son un buen indicador para estudiar la programación fetal por subnutrición y su número está

disminuido en los testículos de los corderos que sufrieron restricción nutricional intrauterina. Dado que estas células dejan de multiplicarse antes del inicio de la pubertad (56 días de edad en corderos) y su número marca el límite superior de la producción de espermatozoides (Hochereau-de Reviere *et al.*, 1987), es dable esperar que los corderos de madres subalimentadas tengan una menor capacidad de producción de espermatozoides durante toda su vida adulta. Por otra parte, es de hacer notar que una oferta relativamente baja de campo natural induce una subalimentación en las ovejas gestantes con impacto negativo en el desarrollo del aparato reproductor de sus crías. Aún más, un elevado aumento del plano nutricional durante las últimas 3 semanas de gestación, no parece compensar la subalimentación del periodo anterior.

En suma, la subnutrición durante las etapas intrauterinas de la vida de un feto ovino tiene como consecuencia un desarrollo reproductivo alterado, con menor tamaño testicular, menor circunferencia escrotal y probablemente una menor producción diaria de espermatozoides. Estos efectos no parecen ser de fuerte intensidad, sino que son efectos cuantitativos relativamente menores, no evidentes en cuanto a la capacidad espermatogénica, pero que tendrían su impacto en la capacidad reproductiva del individuo. Resta determinar a futuro el grado de dicho impacto.

## BIBLIOGRAFÍA

**Barker, D.K.P.** 2001. The fetal origins of adult disease. *BMJ*, 322-375 doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.322.7283.375>

**Bermúdez, R.; Ayala, W.** 2005. Producción de forraje de un campo natural de la zona de lomadas del este (Forage production of natural grassland of the zone Lomadas del Este). In Technical Series 151, Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural (Seminar of technical update in handling of natural grassland, ed. Gómez Miller R and Albicette MM), INIA, Montevideo, Uruguay, 33-40 pp.

**Bielli, A.; Katz, H.; Pedrana, G.; Gastel, M.T.; Moraña, A.; Castrillejo, A.; Lundeheim, N.; Forsberg, M.; Rodríguez-Martínez, H.** 2001. Nutritional management during fetal and postnatal life, and the influence on testicular stereology and Sertoli cell numbers in Corriedale ram lambs. *Small Ruminant Research*, 40 (1): 63-71 doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(00\)00213-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(00)00213-3)

**Bielli, A.; Pérez-Clariget, R.; Pedrana, G.; Milton, T.J.; López, A.; Blackberry, M.A.; Duncombe, G.; Rodríguez-Martínez, H.; Martín, G.B.** 2002. Low maternal nutrition during pregnancy reduces the number of Sertoli cells in the newborn lamb. *Reproduction Fertility and Development*, 14 (5-6): 333-337 doi: <https://doi.org/10.1071/RD02046>

**Bielli, A.; Genovese, P.; Riaño, V.; Abud, M.J.; Álvarez, A.; Ithurralde, J.; López-Pérez, A.; Pérez-Clariget, R.** La oferta de forraje afecta la longitud del pene y el tamaño del escroto en fetos ovinos de 70 días de gestación. XXIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA), Habana, Cuba, 18-22 noviembre 2013.

- Bielli, A.; Montaldo, S.; Genovese, P.; Correia, R.; Riaño, V.; Pérez Clariget, R.** Pasture allowance during pregnancy does not affect the histology of the testes in 70 days lamb fetuses. 18th. International Congress on Animal *Reproduction* (ICAR). Tours, Francia. 26-30 de junio 2016.
- Bielli, A.; Genovese, P.; Marí, E.; Montaldo, S.; Abud, M.J.; López-Pérez, A.; Pérez-Clariget, R.** Efecto de la oferta de forraje en la oveja gestante sobre el desarrollo del aparato reproductor masculino de sus crías. VI Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal (AUPA), 19 al 21 de marzo 2018, Tacuarembó, Uruguay.  
<http://www.revistasmvu.com.uy/aupa-2018/AUPA-2018-FINAL.pdf>
- Burton, G.J.; Fowden, A.L.** 2012. Review. The placenta and developmental programming: Balancing fetal nutrient demands with maternal resource allocation. *Placenta*, 33: S23-S27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2011.11.013> Epub 2011 Dec 10.
- Castrillejo, A.; Moraña, J.A.; Bielli, A.; Gastel, M.T.; Molina, J.R.; Forsberg, M.; Rodríguez-Martínez, H.** 1995. Onset of spermatogenesis in Corriedale ram lambs under extensive rearing conditions in Uruguay. *Acta veterinaria Scandinavica*, 36: 161-173.
- Freitas de Melo, A.; Ungerfeld, R.; Hötzel, M.J.; Abud, M.J.; Alvarez-Oxiley, A.; Orihuela, A.; Damián, J.P.; Pérez-Clariget, R.** 2015. Mother–young behaviours at lambing in grazing ewes: Effects of lamb sex and food restriction in pregnancy. *Applied Animal Behaviour Science*, 168: 31-36  
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.04.009>
- Greenwood, P.L.; Bell, A.W.** 2003. Consequences of intra-uterine growth retardation for postnatal growth, metabolism and pathophysiology. *Reproduction Supplement*, 61: 195-206
- Hochereau-de Reviers MT, Monet-Kuntz C, Courot M.** 1987. Spermatogenesis and Sertoli cell numbers and function in rams and bulls. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*, 34:101-14.
- Ithurralde, J.; Pérez-Clariget, R.; Corrales, F.; Fila, D.; López-Pérez, A.; Marichal, M.J.; Saadoun, A.; Bielli, A.** 2019. Sex dependent effects of maternal undernutrition on growth performance carcass characteristics and meat quality of lambs. *Livestock Science*, 221: 105-114  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.01.024>
- Leonhardt, M.; Lesage, J.; Croix, D.; Duetriez-Casteloot, I.; Beauvillain, J.C.; Dupouy, J.P.** 2003. Effects of perinatal maternal food restriction on pituitary–gonadal axis and plasma leptin level in rat pup at birth and weaning and on timing of puberty. *Biology of reproduction*, 68: 390–400.  
<https://doi.org/10.1095/biolreprod.102.003269>
- Nathanielsz, P.W.; Hanson, M.A.** 2003. The fetal dilemma: spare the brain and spoil the liver. *The Journal of physiology*, 548: 333  
doi: 10.1113/jphysiol.2003.040527
- Pérez-Clariget, R.; Montaldo, S.; Genovese, P.; Riaño, V.; Bielli, A.** Pasture allowance during pregnancy affects the histology of the testes in newborn lambs. 18th. International Congress on Animal *Reproduction* (ICAR). Tours, Francia. 26-30 de junio 2016.
- Rae, M.T.; Kyle, C.E.; Miller, D.W.; Hammond, A.J.; Brooks, A.N.; Rhind, S.M.** 2002. The effects of undernutrition, in utero, on reproductive function in adult male and female sheep. *Animal Reproduction Science*, 72(1-2): 63-71.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(02\)00068-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(02)00068-4)

**Rhind, S.M.; Elston, D.A.; Jones, J.R.; Rees, M.E.; McMillen, S.R.; Gunn, R.G.**, 1998. Effects of restriction of grow and development of Brecon Cheviot ewe lambs on subsequent lifetime reproductive performance. *Small Ruminant Research*, 30(1-2): 121–126.  
[https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(98\)00103-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(98)00103-5)

**Sharpe, R.M.** 1994. Regulation of spermatogenesis. En: *Physiology of Reproduction*. Eds. Knobil E, Neill JD. Raven Press, New York, 1363-14-34.

**Steinberger, E.** 1971. Hormonal control of mammalian spermatogenesis. *Physiological Reviews*, 51(1):1-22.  
<https://doi.org/10.1152/physrev.1971.51.1.1>

**Toledo, F.C.; Perobelli, J.E.; Pedrosa, F.P.; Ansemo-Franci, J.A.; Kempinas, W.D.** 2011. *In utero* protein restriction causes growth delay and alters sperm parameter in adult male rats. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 9: 94  
doi: 10.1186/1477-7827-9-94.

# LA ESQUILA A LOS 50 DÍAS DE GESTACIÓN DE OVEJAS EN PASTOREO AFECTÓ POSITIVAMENTE EL PESO CORPORAL PERO NO PARÁMETROS REPRODUCTIVOS Y DE SALUD DE LOS CORDEROS MACHOS DURANTE LOS PRIMEROS 18 MESES DE EDAD

C. López-Mazz<sup>1</sup>, M. Regueiro<sup>1</sup>, F. Baldi<sup>2</sup>, G. Quintans<sup>3</sup>, G. Banchemo<sup>4</sup>

## RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto de la esquila a los 50 días de gestación sobre la producción, reproducción y la respuesta a un desafío parasitario en la descendencia (corderos machos), desde el destete (104 d) hasta los 18 meses de edad. Se utilizaron 79 corderos Ideal (Polwarth), 44 nacidos como únicos (S) y 35 nacidos como mellizos (T) de ovejas esquiladas a los 50 días de gestación (PS, n = 41) o esquiladas a los 62 días después del parto (U, control, n = 38) dando como resultado cuatro subgrupos: corderos nacidos únicos nacidos de ovejas esquiladas a los 50 días de gestación (SPS, n = 23); corderos únicos nacidos de ovejas esquiladas posparto (SU, n = 21); corderos mellizos nacidos de ovejas esquiladas a los 50 días de gestación (TPS, n = 18) y corderos mellizos nacidos de ovejas esquiladas posparto (TU, n = 17). Durante todo el período experimental los corderos fueron manejados sobre pasturas mejoradas. El peso corporal, la condición corporal y el recuento de huevos en materia fecal se registraron cada 14 días desde el destete hasta los 18 meses. Las mediciones de ultrasonido in vivo se tomaron a los 12,5 meses y 14,6 meses de edad para estimar el área de ojo de bife (AOB) y el espesor de grasa subcutánea (EGS) en el músculo *Longissimus dorsi* y el espesor de grasa en la cadera (P8). Además, una vez cada dos semanas, se determinó la concentración plasmática de testosterona para establecer la edad al inicio de la pubertad. Los

corderos machos PS fueron más pesados ( $P = 0,02$ ) que los corderos machos U. El tratamiento de esquila no tuvo efecto en ninguno de los parámetros del desarrollo corporal ( $P > 0,05$ ). Sin embargo, AOB ( $P = 0,06$ ) y P8 ( $P = 0,02$ ) fueron mayores a 14,6 meses que a 12,5 meses. La concentración de testosterona, la edad en la pubertad y el peso testicular no fueron diferentes ( $P > 0,05$ ) entre los tratamientos. Los corderos únicos alcanzaron la pubertad antes ( $P = 0,06$ ) que los mellizos. La esquila preparto no afectó el recuento de huevos y el índice de Famacha. El estudio concluye que la esquila de ovejas a los 50 días de gestación influye positivamente en el peso corporal de la descendencia masculina desde el destete en adelante pero no afectó el resto de los parámetros evaluados.

**Palabras clave:** esquila temprana, crecimiento, reproducción, inmunidad, corderos

## ABSTRACT

This study evaluated the effects of shearing at 50 days of gestation on the productive, reproductive and response to a gastrointestinal parasite challenge of male offspring from weaning (104 d) to 18 months old. In total, 79 Polwarth male lambs were used, 44 single (S) and 35 twin (T) born to ewes either shorn at 50 days of pregnancy (PS, n = 41) or shorn at 62 days post-partum (U, control, n = 38) resulting in four sub-groups: SPS: single male lambs born to ewes shorn at 50 days of pregnancy (n = 23), SU: single male lambs born to postpartum

<sup>1</sup> Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay;

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo, Brazil;

<sup>3</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Treinta y Tres, Uruguay;

<sup>4</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA La Estanzuela, Uruguay.

shorn ewes ( $n = 21$ ), TPS: twin males lambs born to ewes shorn at 50 days of pregnancy ( $n = 18$ ) or TU: twin female lambs born to postpartum shorn ewes ( $n = 17$ ). The lambs were kept together on improved pasture throughout the entire experiment. Body weight, body condition score and fecal eggs count were recorded every 14 days from weaning to 18 months old. Ultrasound measurements in vivo were performed at 12.5 months and 14.6 months old to estimate of ribeye area (REA) and backfat thickness (BFT) in the *Longissimus dorsi* muscle and the thickness of fat in the hip region (P8). Furthermore, plasma testosterone concentration was determined once every two weeks to establish the age at onset of puberty. PS male lambs were heavier ( $P = 0,02$ ) than U male lambs. Shearing treatment had no effect on none of the parameters of body development ( $P > 0,05$ ). However, REA ( $P = 0.06$ ) and P8 ( $P = 0,02$ ) were higher at 14.6 mo than 12.5 mo old. Testosterone concentration, age at puberty and testicular weight were not different ( $P > 0,05$ ) among treatments. Single male lambs reached puberty earlier ( $P = 0.06$ ) than twin. Prepartum shearing did not affect the parasite egg count and the Famacha index. The study concludes that ewe shearing at 50 days of gestation positively influences the bodyweight of male offspring from weaning onwards but not the other evaluated traits.

## INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción ovina orientados a la producción de carne de cordero de calidad, el éxito productivo y económico, está estrechamente relacionado con la precocidad sexual, fertilidad y prolificidad de ovejas y carneros y con la supervivencia de los corderos después del nacimiento. La mayor supervivencia de los corderos se ha asociado con un mayor peso vivo y vigor al nacimiento, y con una mejor nutrición en el útero en respuesta a la esquila temprano y a mitad de la gestación (Banchemo et al., 2010).

Una gran cantidad de trabajos científicos de esquila de ovejas en pastoreo durante la mitad de la gestación (días 70-90) han mostrado una mejora consistente en el peso al nacer

de los corderos, y en el número de corderos que sobreviven después del destete (Kenyon et al., 2003). La mayor tasa de destete se ha relacionado con el mayor peso vivo al nacer y vigor de los corderos en la primera hora después del nacimiento (Banchemo et al., 2010), así como, con una mayor producción de leche por las ovejas (Cam y Kuram, 2004).

La esquila en el primer tercio de la gestación también mostró un efecto positivo sobre el peso al nacimiento y al destete de los corderos (Morris et al., 2000; Sphor et al., 2011). En un estudio reciente, López-Mazz et al. (2017) encontraron efectos similares sobre el peso vivo al parto y al destete, tanto en corderos nacidos únicos como mellizos cuyas madres fueron esquiladas a los 50 días de gestación. Asimismo, los corderos mellizos fueron más vigorosos, e intentaron y lograron mamar con éxito antes, en comparación con los corderos nacidos de ovejas esquiladas después del parto. Capper et al. (2006) relacionó el mayor vigor con un mayor duración de gestación, aunque López-Mazz et al. (2017) no observaron el mismo comportamiento en los corderos individuales, esto sugiere, la existencia de otros mecanismos que pueden afectar el vigor de los corderos al nacer, independientemente del aumento en la duración de la gestación. Por otra parte, Banchemo et al. (2010), trabajando en condiciones de pastoreo concluyó, que el incremento en el vigor probablemente se deba a que los corderos tienen un mayor grado de madurez funcional de los sistemas del organismo al momento del nacimiento.

Hasta el momento, el objetivo en la mayoría de los trabajos de investigación relacionado con la esquila a mitad de gestación ha sido estudiar el período desde el nacimiento hasta el destete de los corderos (Kenyon et al., 2003). Sin embargo, no hay información sobre el efecto de la esquila en la gestación temprana, sobre el desempeño productivo y reproductivo de la descendencia desde el destete en adelante. Esto puede ser particularmente interesante, ya que, en ese momento, se sientan las bases celulares y moleculares de órganos y tejidos del feto



(organogénesis) (Heasman et al., 1999) y de la placenta en crecimiento (Kelly, 1992), lo cual puede conducir a variaciones en el suministro de nutrientes al feto (Reynolds y Redmer, 1995) y en consecuencia puede potencialmente influir en el desempeño futuro de los animales.

En la oveja, la placenta crece activamente en los primeros 80 días de gestación (Kelly, 1992). La placenta desempeña un papel central en mediar las influencias ambientales y maternas sobre el feto, regulando el crecimiento y el desarrollo fetal durante la gestación (Reynolds et al., 2010). Se ha reportado, que la nutrición y el estrés térmico ambiental debido a la esquila temprano y/o a mitad de gestación, pueden influir en el crecimiento y desarrollo placentario, y de esta manera afectar el peso vivo de los corderos al nacimiento (Black y Chestnutt, 1990; Kelly, 1992). Sin embargo, la esquila, ha tenido un efecto variable sobre el peso de la placenta, mientras Montossi et al. (2005) y Banchemo et al. (2010) informaron de un aumento en el peso placentario, Revell et al. (2002) y Barbieri et al. (2018) no lo observaron. Por otra parte, Vonnahme (2012), sostiene que el mayor peso de los corderos al nacer se asociaría más con el desarrollo de lechos vasculares y con un aumento en el flujo sanguíneo uterino-fetal en etapas tempranas de la gestación, que con el peso de la placenta per se.

El crecimiento, la salud y el comportamiento reproductivo de los animales después del nacimiento, se ha relacionado con la trayectoria del crecimiento durante la vida fetal (Rhind et al., 2001; Cronjé, 2003; Greenwood et al., 2010). Existen evidencias, de que las condiciones del ambiente uterino, donde se desarrolla el embrión primero y el feto después pudrían determinar el desempeño de los individuos durante su vida adulta (Nathanielsz, 2000). Esto revela la gran sensibilidad del feto y la placenta a la acción de señales ambientales y nutricionales y en consecuencia a posibles efectos adversos en la vida posterior.

Este proceso, por el cual estímulos de diferente tipo, magnitud y duración, aplicados en momentos críticos del desarrollo embrio-fetal producen efectos permanentes a largo plazo sobre la descendencia (Rhind et al., 2001) se conoce como programación del desarrollo fetal (Barker y Thornburg, 2013). Sin embargo, este cambio en la morfología y fisiología de órganos y tejidos no siempre implica una alteración en el peso vivo de los corderos al nacimiento. Bielli et al. (2002) observaron una reducción significativa en el número de células de Sertoli en corderos recién nacidos que fueron restringidos nutricionalmente durante su vida fetal, representando una evidencia clara de la existencia de programación de desarrollo fetal en el desarrollo de la función reproductiva.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la esquila a los 50 días de gestación sobre el crecimiento corporal, la edad a pubertad y el desarrollo testicular, así como la respuesta al desafío parasitario en los corderos desde el destete hasta los 18 meses de edad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre el otoño del 2012 y marzo del 2014, en la Unidad Experimental de Ovinos de INIA La Estanzuela Uruguay (latitud 34°19'57 "S, longitud 57°40'07" W). El experimento fue diseñado y ejecutado en acuerdo con las directivas experimentales del Comité de Experimentación Animal de la Universidad de la República (UDELAR) (Permiso número: 111400-000079-12).

Los corderos utilizados en el siguiente estudio siguieron un diseño experimental presentado con más detalle en López-Mazz et al. (2017). En resumen, se seleccionaron 155 ovejas Ideal de una misma majada, que fueron inseminadas artificialmente (IA) con semen fresco de tres carneros de la misma raza, entre el 15 de abril y el 3 de mayo (90,3% preñez final), previa sincronización de celos (2 dosis/11 días intervalo, 160 mg de Delprostenate, Lab. Universal, Montevideo, Uruguay).

En el día  $\approx 40$  de gestación por ultrasonografía se determinó preñez y carga fetal (ovejas gestando un cordero o mellizos) y en el día  $50 \pm 0,5$  de gestación (máximo = 59 días y mínimo = 35 días), según el peso corporal (PC) y la escala de condición corporal (CC; escala de 1-5; Russel et al., 1969), la mitad de las ovejas gestando uno y dos corderos fueron esquiladas (7 de junio) usando un peine R13 que dejó un remanente de lana de 5 a 7 mm (de Barbieri et al., 2005), y asignadas a un diseño factorial  $2 \times 2$ , que incluía esquila pre-parto a los  $50 \pm 0,5$  días de gestación (PS, grupo de tratamiento) o esquila a los  $62 \pm 0,6$  días post-parto (U, grupo de control), carga fetal (único (S) y mellizo (T)); resultando en los siguientes grupos experimentales: ovejas gestando un solo cordero con esquila a los 50 días de gestación (SPS,  $n = 39$ ), ovejas gestando un solo cordero esquiladas post-parto (SU,  $n = 40$ ), ovejas gestando mellizos con esquila a los 50 días de gestación (TPS,  $n = 28$ ) y ovejas gestando mellizos con esquila post-parto (TU,  $n = 33$ ). Los corderos machos nacidos de estas ovejas fueron usados en este estudio (ver sección Animales y diseño experimental). El peso corporal de los corderos al destete fue de  $23,2 \pm 0,6$ ;  $20,9 \pm 0,5$ ;  $17,9 \pm 0,5$  y  $17,3 \pm 0,5$  kg para SPS, SU, TPS y TU respectivamente.

### Animales y diseño experimental

Los 79 corderos machos destetados ( $104 \pm 7$  días de edad, 26 de diciembre) fueron asignados a un diseño factorial  $2 \times 2$  en los

siguientes subgrupos: corderos nacidos únicos de ovejas esquiladas a los 50 días de gestación (SPS,  $n = 23$ ), corderos nacidos únicos de ovejas esquiladas postparto (SU,  $n = 21$ ), corderos nacidos mellizos de ovejas esquiladas a los 50 días de gestación (TPS,  $n = 18$ ) y corderos nacidos mellizos de ovejas esquiladas postparto (TU,  $n = 17$ ).

Durante todo el período experimental (destete a los 18 meses de edad), los corderos pastorearon *ad libitum* sobre pasturas mejoradas con alfalfa (*Medicago sativa*) o una mezcla de trébol rojo (*Trifolium pretense*) y raigrás (*Lolium multiflorum*), con una oferta estimada de forraje del 6% del peso vivo en base seca (9,8 MJ de energía metabolizable (EM) / kg MS) y acceso permanente a agua de buena calidad (Cuadro 1).

### Peso corporal y condición corporal

Cada 14 días se registró el peso corporal (PC) (destete hasta los 18 meses de edad), y los datos se usaron para estimar la ganancia media diaria (GMD). La condición corporal (CC) se registró cada 14 días, desde 4,4 meses de edad hasta los 18 meses de edad. A los 12,6 meses y 14,5 meses de edad se estimó in vivo el área de ojo de bife (AOB) y espesor de grasa subcutánea (EGS) en el músculo *Longissimus dorsi* y el espesor de grasa en la cadera (P8) con un ecógrafo Aloka 500 (Aloka Co. Ltd., Tokio, Japón) y un transductor lineal de 12 MHz.

**Cuadro 1.** Análisis de la composición de la pastura ofrecida a las ovejas. Materia seca (MS), Proteína cruda (PC), Fibra detergente ácida (FDA), Fibra detergente neutra (FDN), Cenizas

Parámetros	2013			2014	
	Verano (4)	Otoño (4)	Invierno (3)	Primavera (2)	Verano (4)
MS (%)	96,9 – 97,5	96,9 – 97,5	96,8 – 97,0	96,1 – 96,6	88,1 – 89,0
PC (%)	11,5 – 25,7	17,3 – 32,8	10,7 – 27,6	13,3 – 14	15,3 – 15,8
FDA (%)	26,7 – 46,1	27,3 – 47,4	24,4 – 25,8	32,5 – 34	24,1 – 26,2
FDN (%)	40 – 62,7	40,3 – 70	40,3 – 45,2	54	41,1 – 45
CENIZAS (%)	8,2 – 10,6	9,4 – 14,6	7,2 – 11,3	11	7,8 – 8,2

Los valores representan el rango (máximo y mínimo) para cada una de las variables consideradas. Entre paréntesis, el número de muestras tomadas en cada estación

## VARIABLES REPRODUCTIVAS

### *Edad a la pubertad*

Cada 14 días se colectaron muestras de sangre ( $119 \pm 0,9$  d hasta los  $258 \pm 0,9$  días de edad) para determinar la concentración plasmática de testosterona por RIA en fase sólida (Coat and Count, Diagnostic Products Corporation, Siemens, Los Ángeles, USA) en el Laboratorio de Endocrinología de la Facultad de Agronomía (UDELAR). El límite de detección fue de  $0,14$  nmol/L, y los coeficientes de variación intra e inter-ensayo fueron 10% y 10% en control bajo ( $0,7$  nmol/L) y 15% y 13% en control alto ( $27,3$  nmol/L). Dentro de la primera hora de obtenida, la sangre fue centrifugada ( $2.000$  g/15 min) y el plasma almacenado y congelado a  $-20^\circ$  C hasta el momento del análisis hormonal. El comienzo de la pubertad se definió como el primer aumento en la concentración plasmática de testosterona  $\geq 1$  ng/ml, que fue seguida por al menos dos valores iguales o mayores consecutivos (Kotsampasi et al., 2009).

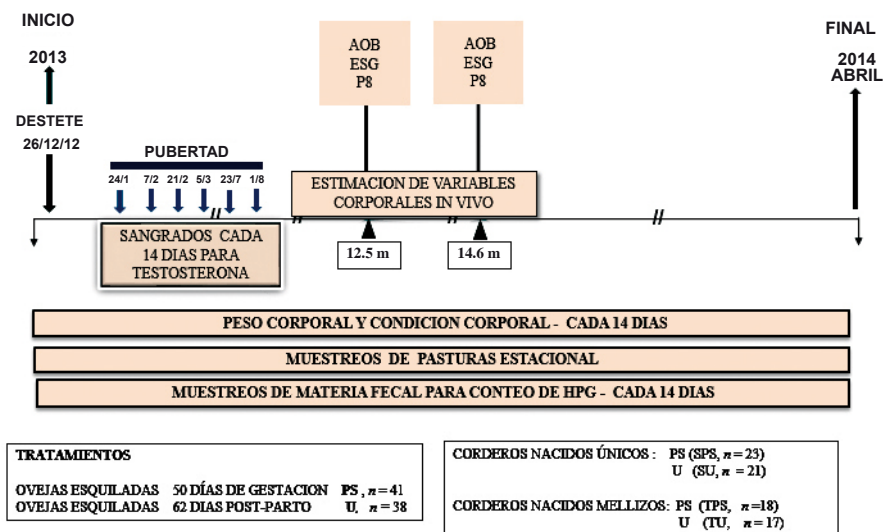
### *Peso testicular*

A los  $382 \pm 1,4$  días de edad (12,7 meses), 24 corderos (SPS,  $n = 6$ ; SU,  $n = 6$ ; TPS,  $n = 7$  y TU,  $n = 5$ ) fueron castrados (4/10/2013) en la temporada no reproductiva (12h26/11h34', luz/oscuridad). En la temporada reproductiva (17/3/2014, 11h40' / 12h20', claro/oscuridad) otra muestra de 24 corderos, con similar cantidad de animales por tratamiento que en la estación no reproductiva fueron castrados a los  $545,2 \pm 1,3$  días de edad (18,2 meses). Después de la castración, los testículos se examinaron macroscópicamente y luego se pesaron usando una balanza electrónica con precisión de  $0,1$  g.

## RECUESTO DE HUEVOS DE PARÁSITOS GASTROINTESTINALES EN LA MATERIA FECAL (HPG, HUEVOS/g MATERIA FECAL)

Cada 14 días (30 d post-destete y hasta los 18 meses de edad) se estimó la carga de parásitos gastrointestinales (PS,  $n = 41$  y U,  $n = 38$ ) a través del recuento de huevos de parásitos gastrointestinales por gramo de materia fecal (HPG) utilizando una precisión de 40 HPG (Laboratorio de Parasitología de la Facultad de Medicina Veterinaria (UDELAR). Se utilizó un tratamiento antihelmíntico selectivo (sistema FAMACHA) para situaciones en las que la carga individual de parásitos podría comprometer la salud de los animales. Se calculó un índice de dosificación total (IDT = número total de dosificaciones antihelmínticas durante el período experimental dividido por el número total de animales experimentales) y un índice de Famacha (IF = número de dosis antihelmínticas selectivas dividido por el número total de corderos) a los efectos de estimar la respuesta inmunitaria de los animales al desafío parasitario.

Teniendo en cuenta, que la distribución de parásitos dentro de los individuos de una población no presenta una distribución normal, y en cambio, es común encontrar altas cargas de parásitos en pocos animales (Nari et al., FAO, 2003). Para el análisis de esta variable se consideraron solo los registros con conteos de huevos superiores a los 500 HPG. Recuentos de HPG más bajos, generalmente reflejan bajas cargas parasitarias o animales en un estado de resiliencia, que se considera que no comprometería el comportamiento productivo de los animales.



**Figura 1.** Protocolo experimental. Variables analizadas: peso corporal, condición corporal, concentración plasmática de testosterona, conteo de huevos de parásitos en materia fecal (HPG), área de ojo de bife (AOB), espesor de grasa subcutánea (EGS), espesor de grasa en la cadera (P8) y kg de materia seca por hectárea.

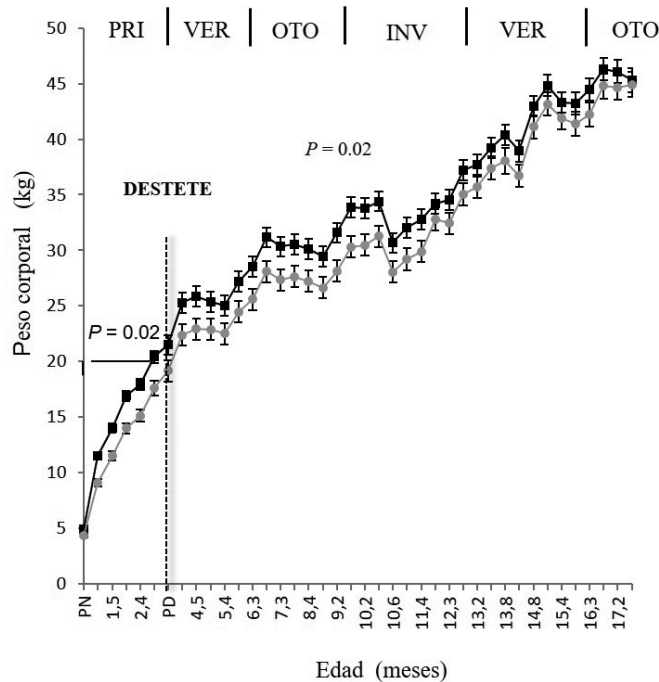
### Análisis estadístico

Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico SAS (SAS Institute Cary, NC, USA). Las variables de PC, CC, concentración plasmática de testosterona, los parámetros de desarrollo corporal in vivo (AOB, EGS, P8) y el conteo de HPG fueron analizados como medidas repetidas, utilizando el procedimiento MIXED. El modelo incluyó el tratamiento de esquila, el número de corderos (únicos versus gemelos) y sus interacciones como efectos fijos; con los corderos dentro de cada grupo como un efecto aleatorio. Los valores de IDT y IF se analizaron usando GLM con el procedimiento GENMOD, suponiendo una distribución multinomial. La edad en días a la pubertad y el peso testicular se analizaron por ANOVA con el procedimiento PROC MIXED. Se utilizó el test de Tukey para la separación de medias ( $P < 0,05$ ), y las diferencias se consideraron significativas a  $P \leq 0,05$  y una tendencia  $P \geq 0,05$  y  $\leq 0,1$ . Los valores se presentan como promedio  $\pm$  error de la media (EEM).

### RESULTADOS

La media del peso corporal para todo el período experimental de los corderos nacidos de ovejas esquiladas pre-parto (Día 50 de gestación) fue significativamente mayor ( $P = 0,02$ ) que los nacidos de ovejas esquiladas post-parto ( $34,6 \pm 0,7$  vs.  $32,2 \pm 0,7$  kg, respectivamente). La GMD ( $73 \pm 0,04$  g y  $78 \pm 0,04$  g, PS y U) y la CC no fueron diferentes entre los corderos de ambos tratamientos.

El AOB y EGS del músculo *Longissimus dorsi* y el espesor de grasa en P8 no fueron afectados por el tratamiento de esquila y la carga fetal. Sin embargo, el valor de AOB ( $8,0 \pm 0,2$  vs.  $8,6 \pm 0,2$  cm<sup>2</sup>;  $P = 0,06$ ) y el P8 ( $2,1 \pm 0,08$  vs.  $2,7 \pm 0,09$  mm, aumentaron a medida que los corderos aumentaron de edad (12,5 meses a 14,6 meses). El PC de los corderos también se incrementó con la edad, siendo mayor ( $P < 0,001$ ) a los 14,5 meses respecto a los 12,5 meses.



**Figura 2.** Evolución del peso corporal (media ± eem) desde el nacimiento hasta los 18 meses de edad, esquilados pre-parto: PS ( $n = 41$ , - ■ -) o post-parto: U ( $n = 38$ , - ○ -) PN = peso de nacimiento; PD = peso al destete

La edad a la pubertad no fue diferente entre tratamientos ( $225 \pm 4,0$  vs.  $225,1 \pm 4,8$  d, PS y U,  $P > 0,05$ , respectivamente). En cambio, los corderos nacidos de partos únicos alcanzaron la pubertad a edad más temprana que los mellizos ( $219 \pm 4,3$  vs.  $231,1 \pm 4,5$  días de edad;  $P = 0,06$ ). Los corderos del grupo parto alcanzaron la pubertad a un peso mayor ( $P = 0,02$ ) que los corderos nacidos de ovejas esquiladas postparto ( $30,5 \pm 0,8$  vs.  $27,5 \pm 0,9$  kg).

La esquila parto no afectó el desarrollo testicular de los carneros en ninguno de los dos momentos evaluados (temporada no reproductiva o reproductiva) como lo indica el peso de los testículos al momento de la castración.

Durante el período experimental no se detectaron diferencias en el conteo de HPG entre los corderos del grupo tratamiento y control. El conteo de HPG de los corderos mellizos fue significativamente superior ( $P = 0,003$ ) al de los nacidos únicos ( $4,93 \pm 0,1$

vs.  $4,72 \pm 0,1$  respectivamente). Los HPG variaron ( $P < 0,0001$ ) con el tiempo. El valor de IF y IDT no se vieron afectados por el tratamiento de esquila y la carga fetal.

### DISCUSIÓN

En las condiciones en que se realizó este estudio, la esquila temprano en la gestación (día 50) incrementó significativamente el PC de los corderos a partir del destete y hasta los 18 meses de edad. Sin embargo, esta respuesta no estuvo acompañada por cambios en la GMD, en la CC y en las estimaciones de la composición de la canal para el AOB y EGS del músculo *Longissimus dorsi* y el P8.

El mayor peso vivo de los corderos durante los primeros 12 meses de vida, puede ser el resultado del efecto positivo sobre el peso al destete de los corderos como consecuencia de la esquila de sus madres a los 50 días de gestación (Lopez-Mazz et al., 2017). Si tenemos en cuenta que el crecimiento corporal se

basa en el proceso de crecimiento y desarrollo del músculo esquelético, el cual se inicia temprano en la vida fetal de los corderos (Du et al., 2010). Además, que la placenta durante la etapa de crecimiento puede cambiar su estructura y funcionamiento en respuesta a estímulos en el ambiente uterino (Sibley et al., 2010). La respuesta a largo plazo en el peso corporal de los corderos de las ovejas esquiladas temprano en la gestación puede suponer la existencia de un cambio en la programación fetal asociado al crecimiento corporal. En este sentido, hay evidencia que la restricción nutricional temprano en la gestación puede producir una reducción del número y del tipo de fibras musculares, afectando el tamaño muscular y el rendimiento futuro de los animales corderos (Du et al., 2010).

Por otro parte, los corderos nacidos de ovejas esquiladas después del parto no respondieron con un crecimiento compensatorio en respuesta al bajo peso corporal al destete, incluso cuando se les ofreció pasturas mejoradas *ad libitum* durante todo el período de estudio.

El incremento del peso corporal desde los 12,5 a los 14,6 meses de edad (13% y 15% para los corderos PS and U respectivamente) posiblemente sea responsable de la variación de los valores de AOB y el P8 en el mismo período de tiempo.

La esquila durante la gestación no afectó la edad a la pubertad de los corderos, ni el desarrollo testicular en los 18 meses de edad. Sin embargo, existe evidencia, de que los parámetros reproductivos son notablemente afectados por la desnutrición (Bielli et al., 2002), pero en este estudio, los niveles de nutrición podrían haber sido iguales para los grupos de tratamiento y control, postergando a las eventuales diferencias de la esquila temprano en la gestación.

## CONCLUSIONES

La esquila en el día 50 de gestación tuvo un efecto positivo a largo plazo sobre el peso corporal de la progenie. Este mayor peso corporal podría ser el resultado del efecto previo de la esquila temprana sobre el peso al destete de los corderos, ya que la tasa de ganancia de peso vivo no fue diferente entre los tratamientos. De este modo, la esquila temprana puede ser una herramienta útil para los criadores de ovejas, ya que les va a permitir obtener corderos más pesados temprano en el invierno, y capitalizar los mejores precios de mercado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Banchero, G.; Vázquez, A.; Montossi, F.; De Barbieri, I.; Quintans, G.** 2010. Prepartum shearing of ewes under pastoral conditions improves the early vigour of both single and twin lambs. *Anim. Prod. Sci.* 50, 309-314. doi: 10.1071/AN09127
- Barker, D.J.P.; Thornburg, K.L.** 2013. Placental programming of chronic diseases, cancer and lifespan: A review. *Placenta* 34 (2013) 841e845. doi: org/10.1016/j.placenta.2013.07.063
- Bauer, M.K.; Harding, J.E.; Bassett, N.S.; Breier, B.H.; Oliver, M.H.; Gallaher, B.H.; Evans, P.C.; Woodall, S.M.; Gluckman, P.D.** 1998. Fetal growth and placental function. *Molecular and Cellular Endocrinology* 140, 115-120. doi:10.1016/s0303-7207(98)00039-2
- Bielli, A.; Pérez, R.; Pedrana, G.; Milton, J.T.B.; López, A.; Blackberry, M.A.; Duncombe, G.; Rodriguez-Martinez, H.; Martin, G.B.** 2002. Low maternal nutrition during pregnancy reduces the number of Sertoli cells in the newborn lamb. *Reprod. Fertil. Dev.* 14: 333-337. doi: 10.1071/RD02046

- Black, J.H.; Chestnut, D.M.B.** 1990. Influence of shearing regime and grass silage quality on the performance of pregnant ewes. *Animal Production* 51, 573-582. doi.org/10.1017/S0003356100012617
- Cam, M.A.; Kuran, M.** 2004. Shearing pregnant ewes to improve lamb birth weight increases milk yield of ewes and lamb weaning weight. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 17, 1669-1673. doi.org/10.5713/ajas.2004.1669
- Capper, J.L.; Wilkinson, R.G.; Pattinson, S.E.; Mackenzie, A.M.; Sinclair, L.A.** 2006. Polyunsaturated fatty acid supplementation during pregnancy alters neonatal behaviour in sheep. *The Journal of Nutrition* 136, 397-403. doi: 10.1017/S1751731107000067
- Cronjé, P.B.** 2003. Foetal programming of immune competence. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43, 1427-1430. doi.org/10.1071/EA03005
- Dalton, D.C.; Knight, T.W.; Johnson, D.L.** 1980. Lamb survival in sheep breeds on New Zealand hill country. *New Zealand Journal of Agric. Res.* 23, 167-173. doi.org/10.1080/00288233.1980.10430783
- De Barbieri, I.; Montossi, F.; Dighiero, A.; Martínez, H.; Nolla, M.; Luzardo, S.; Mederos, A.; Zamit, W.; Levratto, J.; Frugoni, J.; Lima, G.; Costales, J.** 2005. Alternativas de la esquila preparto temprana. Evaluación del impacto del tipo de peine. In 'Seminario de Actualización técnica: reproducción ovina. Recientes avances realizados por el INIA, Uruguay'. *Serie de actividades de Difusión* 401, 104-114. (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) Treinta y Tres y Tacuarembó: Tacuarembó, Uruguay).
- De Barbieri, I.; Montossi, F.; Viñoles, C.; Kenyon, P.R.** 2018. Time of shearing the ewe not only affects lamb live weight and survival at birth and weaning, but also ewe wool production and quality. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 61, 57-66. doi.org/10.1080/00288233.2017.1388825
- 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<sup>1</sup>. *Journal of Animal Science*, 88(suppl\_13), E51-E60. doi:10.2527/jas.2009-2311
- Ehrhardt, R.A.; BELL, A.W.** 1995. Growth and metabolism of the ovine placenta during mid-gestation. *Placenta* 16, 727-741. doi.org/10.1016/0143-4004 (95)90016-0
- Greenwood, P.L.; Thompson, A.; Ford, S.P.** 2010. Postnatal consequences of the maternal environment and growth during prenatal life for productivity of Ruminants. In *Managing the prenatal environment to enhance livestock productivity* (eds. PL Greenwood, AW Bell, PE Vercoe and GJ Viljoen), pp. 3-36. Springer Science Business Media, Dordrecht, Netherlands.
- Heasman, L.; Clarke, L.; Stephenson, T.J.; Symonds, M.E.** 1999. The influence of maternal nutrient restriction in early to mid-gestation on placental and fetal development in sheep. *Proceedings of the Nutrition Society* 58, 283-288. doi: 10.1017/s0029665199000397
- Kelly, R.W.** 1992. Nutrition and placental development. *Proceedings of the Nutrition Society of Australia* 17, 203-211.
- Kenyon, P.R.; Morris, S.T.; Revell, D.K.; McCutcheon, S.N.** 2003. Shearing during pregnancy - review of a policy to increase birth-weight and survival of lambs in New Zealand pastoral farming systems. *New Zealand Veterinary Journal* 51, 200-207. doi.org/10.1080/00480169.2003.36368

- Kotsampasi, B.; Chadio, S.; Papadomichelakis, G.; Deligeorgis, S.; Kaliogiannis, D.; Menegatos, I.; Zervas, G.** 2009. Effects of maternal undernutrition on the hypothalamic-pituitary-gonadal axis function in female sheep offspring. *Reproduction in Domestic Animals* 44, 677-684. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.01046.x>
- López-Mazz, C.; Baldi, F.; Quintans, G.; Banchemo, G.** 2017. Shearing ewes in the first third of gestation improves offspring performance. *Anim. Prod. Sci.* 58, 1908-1914. [doi.org/10.1071/AN16461](https://doi.org/10.1071/AN16461)
- Montossi, F.; De Barbieri, I.; Digiero, A.; Martínez, H; Nolla, M; Luzardo, S; Mederos, A; San Julian, R; Zमित, R; Levratto, W; Frugoni, J; Lima, G; Costales, J.** 2005. La esquila preparto temprana: una nueva opción para la mejora reproductiva ovina. In 'Seminario de Actualización técnica: reproducción ovina. Recientes avances realizados por el INIA, Uruguay'. *Serie de actividades de Difusión* 401, 85-103. (National Institute of Agricultural Research (INIA): Treinta y Tres y Tacuarembó: Tacuarembó, Uruguay).
- Morris, S.T.; McCutcheon, S.N.; Revell, D.K.** 2000. Birth weight responses to shearing ewes in early to mid gestation. *Anim Sci.* 70, 363-369. [doi.org/10.1017/S1357729800054825](https://doi.org/10.1017/S1357729800054825)
- Nari, A.; Eddi, C.; Martins, J.R.; Benavides, E.** 2003. Resistencia a los Antiparasitarios: Estado actual con énfasis en América Latina. *Estudio FAO Producción y Sanidad Animal* 157. FAO, Rome, Italy, pp.16.
- Nathanielsz, P.** 2000. Fetal Programming: How the Quality of Fetal Life Alters Biology for a Lifetime. *NeoReviews*, 1(7), 126e-131. [doi:10.1542/neo.1-7-e126](https://doi.org/10.1542/neo.1-7-e126)
- Nowak, R; Pascal, P.** 2006. From birth to colostrum: early steps leading to lamb survival. [doi: 10.1051/rnd:2006023](https://doi.org/10.1051/rnd:2006023)
- Reprod. Nut. Develop.** 46, 431-446. [doi: 10.1051/rnd:2006023](https://doi.org/10.1051/rnd:2006023)
- Revell, D.K.; Morris, S.T.; Cottam, Y.H.; Hanna, J.E.; Thomas, D.G; Brown, S.; McCutcheon, S.N.** 2002. Shearing ewes at mid-pregnancy is associated with changes in fetal growth and development. *Australian Journal of Agricultural Research* 53, 697-705. [doi: 10.1071/AR01140](https://doi.org/10.1071/AR01140)
- Reynolds, L.P.; Borowicz, P.P.; Caton, J.S.; Vonnahme, K.A.; Luther, J.S.; Hammer, C.J.; Maddock Carlin, K.R.; Grazul-Bilska, A.T.; Redmer, D.A.** 2010. Developmental programming: The concept, large animal models, and the key role of uteroplacental vascular development. *Journal Animal Science* 88 (E. Suppl.) E61-E72. [doi: 10.2527/jas.2009-2359](https://doi.org/10.2527/jas.2009-2359).
- Reynolds, L.P.; Redmer, D.A.** 1995. Uteroplacental vascular development and placental function. *Journal of Animal Science* 73, 1839-1851. [doi: 10.2527/1995.7361839x](https://doi.org/10.2527/1995.7361839x)
- Rhind, S.M.; Rae, M.T.; Brooks, A.N.** 2001. Effects of nutrition and environmental factors on the foetal programming of the reproductive axis. *Reproduction* 122(2):205-14.
- Sibley, C.P.; Brownbill, P.; Dilworth, M.; Glazier, J.D.** 2010. Review: Adaptation in placental nutrient supply to meet fetal growth demand: Implications for programming. *Placenta* 31, S70-S74. [doi:10.1016/j.placenta.2009.12.020](https://doi.org/10.1016/j.placenta.2009.12.020)
- Sphor, L.; Banchemo, G.; Correa, G.; Osorio, M.T.M.; Quintans, G.** 2011. Early prepartum shearing increases milk production of wool sheep and the weight of the lambs at birth and weaning. *Small Ruminant Research* 99, 44-47. [doi:10.1016/j.smallrumres.2011.03.007](https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.007)
- Vonnahme, K.; Lemley, C.O.; Shukla, P.; Rourke, S.T.O.** 2013. Placental programming: How the maternal environment can impact placental function. *Journal of Animal Science*. 91, 2467-2480. [doi: 10.2527/jas.2012-5929](https://doi.org/10.2527/jas.2012-5929)



# UNA MENOR OFERTA DE CAMPO NATURAL GESTACIONAL AFECTA EL DESARROLLO MUSCULAR FETAL-NEONATAL Y REPERCUTE SOBRE EL PESO Y LA COMPOSICIÓN FIBRILAR EN CORDEROS PESADOS

J. Ithurralde<sup>1</sup>; M.J. Abud<sup>1</sup>; P. Genovese<sup>2</sup>; F. Corrales<sup>1</sup>; R. Pérez-Clariget<sup>1</sup>, A. Bielli<sup>2</sup>

## RESUMEN

El presente estudio evaluó los efectos de una subnutrición materna inducida por una menor oferta de forraje de campo natural sobre las características histológicas del músculo Semitendinoso de corderos. Se llevaron a cabo dos experimentos. En el experimento 1, las ovejas fueron asignadas a dos tratamientos nutricionales desde 23 días antes de la concepción hasta el día 123 de gestación: las ovejas con alta oferta de forraje (AOF) pastoreaban campo natural con 10-12 kg de materia seca (MS) / 100 kg de peso vivo (PV) / día, mientras que las ovejas de baja oferta (BOF) pastoreaban a 5-8 kg DM / 100 kg de PV / día. En el experimento 2, las ovejas fueron asignadas a dos ofertas de forraje entre los días 30 y 143 de gestación: las ovejas AOF pastoreaban sobre campo natural a 14-20 kg de MS / 100 kg de PV / día; mientras que las ovejas BOF pastoreaban a 6-10 kg de DM / 100 kg de PV / día. En el experimento 1, se tomaron muestras de fetos de 70 días y corderos recién nacidos para evaluar la histología muscular, mientras que en el experimento 2 se tomaron muestras a partir del día 200 de edad de los corderos pesados que fueron alimentados *ad libitum* desde el parto hasta el sacrificio. La subnutrición materna redujo el número de fibras secundarias y el número de núcleos / fascículos en los músculos fetales. La subnutrición materna redujo el diámetro medio de la fibra y el número de núcleos por fibra y aumentó la proporción de tejido no muscular en corderos recién nacidos. Además, la subnutrición materna redujo el peso y aumentó la proporción de fibras oxidativas

en el músculo Semitendinoso de corderos pesados. Nuestros resultados sugieren que una menor asignación de forraje durante la gestación afecta la miogénesis con posibles efectos futuros sobre el rendimiento de la producción de carne.

**Palabras clave:** miogénesis, tipificación fibrilar, calidad de carne, ovinos.

## ABSTRACT

The present study evaluated the effects of maternal undernutrition induced by a lower natural pasture allowance during gestation on the histological characteristics of fetal, neonatal and adult *Semitendinosus* ovine muscle. Two experiments were carried out. In experiment 1, ewes were assigned to two nutritional treatments from 23 days before conception until day 123 of gestation: High pasture allowance (HPA) ewes grazed on natural grasslands at 10-12 kg dry matter (DM)/100 kg of live weight (LW)/day, while low pasture allowance (LPA) ewes grazed at 5-8 kg DM /100 kg of LW/day. In experiment 2, ewes were assigned to two natural pasture allowances between days 30 and 143 of gestation: HPA ewes grazed on 14-20 kg of DM/100kg of LW/day; while LPA ewes grazed on 6-10 kg of DM/100 kg of LW/day. In experiment 1, samples were taken from 70-day old fetuses and newborn lambs to evaluate muscle histology, while in experiment 2 samples were taken from 200-day old heavy-lambs which were equally *ad libitum* fed from lambing until slaughtering. Maternal undernutrition reduced the number of

<sup>1</sup> Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay.

<sup>2</sup> Departamento de Morfología y Desarrollo, Facultad de Veterinaria, Montevideo, Uruguay

secondary fibers and the number of nuclei/fasciculi in fetal muscles. Maternal undernutrition reduced the mean fiber diameter and the number of nuclei per fiber and increased the proportion of non-muscle tissue in newborn lambs. Furthermore, maternal undernutrition reduced the weight and increased the proportion of oxidative fibers in the *Semitendinosus* of heavy-lambs. Our results suggest that a lower maternal pasture allowance during gestation affects myogenesis with possible future effects over meat-producing performance.

**Keywords:** myogenesis, meat quality, sheep.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo y diferenciación de las fibras musculares (miogénesis) es un proceso complejo que involucra la migración, proliferación y fusión de mioblastos para formar precursores fibrilares que luego se diferencian en fibras maduras. En los ovinos la miogénesis involucra a dos precursores fibrilares principales: los miotubos primarios y las fibras fetales secundarias (Wilson *et al.*, 1992). La formación de fibras fetales secundarias supone un proceso de rápida producción masiva de fibras musculares. La cantidad de fibras secundarias rodeando a cada miotubo primario es decisiva sobre la masa muscular total, dado que éstas originan a la mayoría de las fibras musculares adultas (Picard *et al.*, 2002). Además, se ha sugerido que mientras la formación de miotubos primarios se encuentra regulada principalmente por factores genéticos, la cantidad de fibras fetales secundarias formadas está regulada por factores epigenéticos y ambientales, tales como la nutrición materna durante la gestación (Picard *et al.*, 2002).

Por otra parte, la subnutrición gestacional no solo es capaz de afectar el proceso de formación fibrilar sino que también altera su diferenciación (Lefaucheur y Gerrard, 2000), afectando la morfología y fisiología fibrilar y repercutiendo sobre la calidad del producto. El tipo predominante de fibra muscular así como sus características morfológicas repercuten

sobre la evolución *post mortem* muscular, influyendo la calidad del producto a través de mecanismos tales como el descenso del pH muscular o las actividades enzimáticas proteolíticas *post mortem* (Lefaucheur, 2010; Ithurralde *et al.*, 2018a). Normalmente se acepta que la subnutrición prenatal reduce el número de fibras secundarias fetales (Lefaucheur y Gerrard, 2000) y la cantidad de fibras rápidas-glicolíticas adultas. Sin embargo, la información respecto a la perpetuación de estos efectos hasta etapas posteriores del desarrollo ovino y la interacción entre programación fetal y sexo de la progenie es escasa y contradictoria (Sen *et al.*, 2016; Piaggio *et al.*, 2018).

La cría ovina uruguaya continúa siendo mayoritariamente extensiva, sobre campo natural y suelos marginales (Piaggio, 2014). Así, dada la variabilidad estacional de la producción de pasturas (Berretta *et al.*, 1994), la estacionalidad reproductiva y la duración de la gestación ovina, es esperable que las ovejas gestantes experimenten períodos de subnutrición durante la crisis invernal del campo natural, comprometiendo el desarrollo fetal y “programando” la potencialidad productiva de los futuros corderos. Por ende, es posible especular con que un descenso en la disponibilidad forrajera durante la gestación derive en períodos de subnutrición embrionaria-fetal, repercutiendo en el desarrollo muscular y afectando la productividad y la calidad de la carne de los corderos.

Los objetivos del presente trabajo fueron estudiar el efecto de una subnutrición gestacional inducida por una menor oferta de forraje de campo natural sobre el desarrollo muscular ovino fetal-neonatal así como sobre el peso y la composición fibrilar en el músculo *Semitendinosus* de corderos pesados de 200 días de vida.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo involucró la realización de dos experimentos. Experimento 1 (Exp.1): Evaluó el impacto de la restricción nutricional gestacional inducida por ofertas de forraje de campo natural diferentes sobre el desarrollo fetal y

neonatal del músculo *Semitendinosus*. Experimento. 2 (Exp. 2): Evaluó el efecto de la restricción nutricional gestacional inducida por ofertas de forraje de campo natural diferentes sobre el peso y las características fibrilares en el *Semitendinosus* de corderos pesados.

### Localización

Ambos trabajos se llevaron a cabo en la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (Facultad de Agronomía, Cerro Largo, 32°S). El Exp. 2 también implicó una fase de engorde intensivo de corderos en la Estación de Pruebas de la Facultad de Agronomía (Sayago, Montevideo). Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de ética en el uso de animales de la UdelaR. En ambos trabajos se utilizaron ovejas Corriedale múltiples preñadas de fetos únicos.

### Animales, tratamientos y muestreos

#### Experimento 1

El diseño experimental fue previamente publicado (Freitas de Melo *et al.*, 2015) y también se presenta en este libro en el capítulo "Efectos de la subnutrición durante la gestación sobre el desarrollo del aparato reproductor del cordero" (Bielli y Pérez-Clariget, 2019). Brevemente, se utilizaron 36 ovejas de una majada inicial de 335 a las que se les sincronizó el celo y fueron inseminadas con semen fresco de tres carneros Corriedale 12 horas después de la detección del celo (día 0). Treinta días después se confirmó la preñez y carga fetal (ultrasonografía transrectal), mientras que al día 60 de gestación se determinó el sexo fetal mediante la misma metodología. Las ovejas fueron asignadas al azar a dos ofertas de forraje de campo natural contrastantes: i) grupo alta oferta de forraje (AOF, n=18): las ovejas pastorearon sobre campo natural a 10 kg MS/100 kg peso vivo (PV)/ día - 12 kg MS/100 kg PV/día; ii) grupo baja oferta de forraje (BOF, n=18): las ovejas pastorearon sobre campo natural a 5 kg MS/100 kg PV - 8 kg MS/100 kg PV de oferta de forraje. Las ofertas de forraje se ajustaron mensualmente basándose en determinacio-

nes de disponibilidad realizadas mediante el método de doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975). Con cada ajuste se determinó además la composición química (cenizas, proteína cruda, fibra detergente ácida y neutra) así como el consumo de acuerdo a la metodología descrita por Van Soest *et al.* (1991). Con el contenido energético y proteico del forraje se estimó qué porcentaje de los requerimientos proteicos y energéticos de las ovejas (NRC) estaban cubiertos por los tratamientos ofertados. Bielli y Pérez-Clariget (2019) en este libro presentan la disponibilidad y altura de la pastura, los requerimientos energéticos y proteicos cubiertos y la composición química de la misma (Cuadros 3 y 4, respectivamente de dicho capítulo). Cuando las ovejas tenían 70 días de gestación, 18 (9 por tratamiento y 3 por bloque) fueron sacrificadas utilizando faena humanitaria y sus fetos fueron removidos del útero. De ellos se tomó muestras del músculo *Semitendinosus* izquierdo, las cuales se fijaron en paraformaldehído bufferado al 4%. Tras el sacrificio, el resto de las ovejas continuaron en los mismos tratamientos hasta el día de la esquila (día 122 de gestación), cuando los tratamientos terminaron y las ovejas fueron transferidas a una pradera de *Festuca arundinacea* (oferta de forraje: 14%) donde pastorearon todas juntas hasta el parto. Desde 5 días antes de la esquila hasta el parto las ovejas fueron suplementadas en forma grupal: 200 gr de afrechillo de arroz (88% MS, 14% PC, 9% FDA y 24% FDN) y 50 mL de glicerina cruda (77% de glicerol) por día y por animal. Los corderos fueron sacrificados utilizando tiopental intravenoso 12 horas después de nacidos (9/tratamiento, 3/ parcela). Tras el sacrificio a cada cordero se le tomó muestras superficiales de la porción media del vientre del músculo *Semitendinosus* izquierdo, las cuales fueron fijadas en paraformaldehído bufferado al 4%.

#### Experimento 2

El diseño experimental fue previamente publicado (Ithurrade *et al.*, 2019) y también se presenta en este libro en el capítulo "Efectos de la subnutrición durante la gestación sobre el desarrollo del aparato reproductor

del cordero” (Bielli y Pérez-Clariget, 2019). Se sincronizó el celo a 88 ovejas las que fueron inseminadas con semen fresco de dos carneros Corriedale 12 horas después de la detección del celo (día 0). Treinta días después se confirmó la preñez y carga fetal mediante ultrasonografía y aquellas ovejas de gestación simple fueron asignadas al azar a dos tratamientos nutricionales desde el día 30 al 143 de gestación. Las ofertas de forraje asignadas a cada grupo experimental fueron las siguientes: i) Grupo alta oferta de forraje (AOF, n=16; 8 gestantes de machos y 8 gestantes de hembras): las ovejas pastorearon sobre campo natural a 14 kg MS/100 kg PV/día entre los días 30 y 60 de gestación, 15 kg MS/100 kg PV/día entre los días 61 y 110 y 20 kg MS/100 kg PV/día entre los días 111 y 143 de gestación; ii) Grupo baja oferta de forraje (BOF, n=17; 7 gestantes de machos y 10 gestantes de hembras): las ovejas pastorearon sobre campo natural a 6, 5 y 10 kg MS/100 kg PV/ durante los mismos periodos que el grupo anterior. Cada grupo experimental incluyó tres repeticiones en tres parcelas independientes separadas por alambrado eléctrico (diseño de bloques al azar con tres repeticiones). Desde el día 100 de gestación las ovejas fueron suplementadas con 300 g/animal de afrechillo de arroz (88% MS, 14% PC, 9% FDA y 24% FDN). Desde el día 143 hasta el destete (corderos de 90 días) las ovejas y sus corderos fueron manejadas como un único grupo en una misma parcela de campo natural a una oferta no restrictiva y continuaron siendo suplementadas. Los datos de disponibilidad y altura de la pastura, requerimientos energéticos y proteicos cubiertos se presentan por Bielli y Pérez-Clariget (2019) en este libro (Cuadros 6 y 7, respectivamente). Tras el destete, los corderos se transportaron a la Estación de Pruebas de la Facultad de Agronomía, donde fueron alojados en corrales individuales y engordados hasta los 200 días de vida. Los animales se alimentaron *ad libitum* con una mezcla de voluminoso (fardos de alfalfa de buena calidad) y alimento concentrado (ración comercial para corderos: 16% proteínas; 2% extracto etéreo, 13% humedad, 19% fibra cruda, 9% minerales totales). A los

200 días de vida los corderos fueron faenados en la Unidad de Faena Móvil del INAC y se les tomó muestras del músculo *Semitendinosus* izquierdo para su procesamiento histológico.

### **Determinaciones histológicas en fetos, neonatos y corderos pesados**

Las muestras fetales y neonatales fueron incluidas en parafina siguiendo técnicas histológicas estándar y se obtuvieron cortes de 6 µm de espesor, los cuales fueron teñidos con hematoxilina y eosina para evaluar la morfología muscular fetal y neonatal. Los análisis morfométricos fueron realizados utilizando un Software de análisis de imágenes (Infinity analyze®, Toronto, Canadá). En las muestras fetales se determinó la cantidad de fibras fetales secundarias y miotubos primarios para 30 fascículos musculares en desarrollo y se calculó la relación promedio de fibras fetales secundarias y miotubos primarios. Se determinó el diámetro promedio de las fibras fetales secundarias y miotubos primarios a partir de 30 diámetros transversales al azar por muestra. A su vez, utilizando una grilla de referencia superpuesta sobre 8 microfotografías se determinó el volumen porcentual ocupado por el tejido muscular en desarrollo y el intersticio. Se determinó también el número promedio de núcleos por fascículo muscular en desarrollo a partir de 30 fascículos seleccionados al azar. En las muestras neonatales se determinó la densidad fibrilar, la proporción de tejido muscular e intersticio y el número promedio de núcleos por fibra a partir de 5 campos microscópicos por muestra seleccionados al azar. El diámetro fibrilar se calculó como el promedio de 30 diámetros transversales por muestra. Las muestras musculares de corderos pesados fueron incluidas en un medio de inclusión para criostato y secciones de 24 µm de espesor fueron tratadas con la técnica histoquímica NADH-TZ para la revelación de las fibras oxidativas y glicolíticas. La proporción de cada tipo fibrilar se calculó sobre 400 fibras por muestra y el diámetro promedio de cada tipo fibrilar se calculó sobre 30 diámetros transversales de cada tipo fibrilar por muestra.

**Análisis estadísticos**

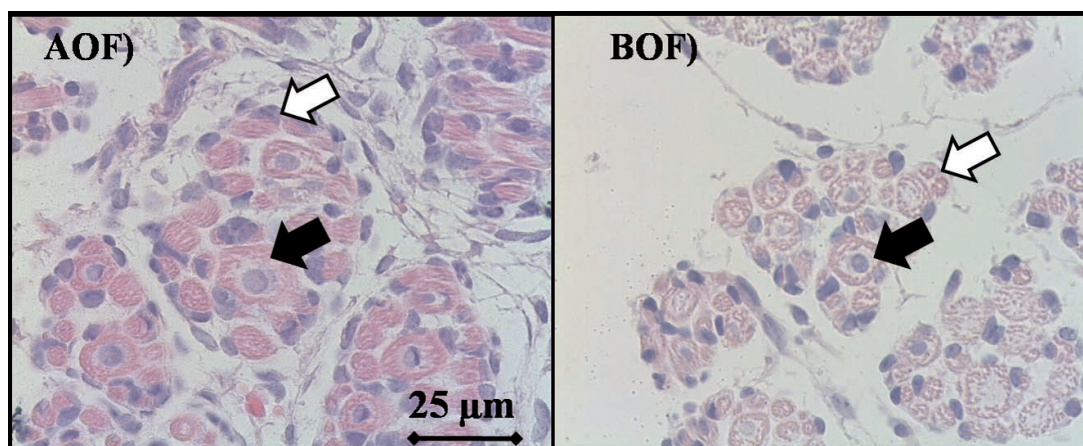
Los datos fueron analizados en un diseño de bloques al azar utilizando modelos mixtos del paquete estadístico SAS (SAS 9.0 V; SAS Institute, Cary, NC, USA). Los modelos ajustados incluyeron el efecto del tratamiento (AOF vs. BOF), el sexo y su interacción como efectos fijos y el bloque como efecto aleatorio. La interacción entre el bloque y el tratamiento fue incluida como efecto aleatorio aunque la misma fue removida del modelo cuando el parámetro de la covarianza estimado fue cero o cercano a cero. Las separaciones de medias se realizaron a través del test de Tukey–Kramer y los efectos se

consideraron significativos cuando  $P \leq 0,05$  o tendencias cuando  $0,05 < P \leq 0,10$ . Los datos se expresan como medias  $\pm$  errores estándar de la media.

**RESULTADOS**

**Efectos en fetos de 70 días de desarrollo**

La subnutrición materna redujo la relación entre fibras fetales secundarias y miotubos primarios, el diámetro de los miotubos primarios, la cantidad de núcleos por fascículo y la proporción de tejido muscular en el *Semiten-dinosus* fetal (Figura 1 y Cuadro 1).



**Figura 1.** Cortes transversales del *Semiten-dinosus* de fetos ovinos de 70 días gestados por ovejas del grupo AOF y BOF teñidos con H y E. Flechas negras y blancas señalan miotubos primarios y fibras fetales secundarias, respectivamente.

**Cuadro 1.** Variables musculares medidas (medias  $\pm$  EEM) en fetos de 70 días (Exp. 1).

Variables	Tratamientos		P valor
	AOF	BOF	
Relación fibras secundarias/miotubos primarios	7,77 $\pm$ 0,28 <sup>a</sup>	4,27 $\pm$ 0,28 <sup>b</sup>	<0,001
Diámetro miotubos primarios ( $\mu$ m)	8,19 $\pm$ 0,30 <sup>a</sup>	7,42 $\pm$ 0,31 <sup>b</sup>	0,04
Diámetro fibras secundarias ( $\mu$ m)	5,36 $\pm$ 0,21	5,16 $\pm$ 0,21	0,42
Núcleos por fascículo	9,9 $\pm$ 0,40 <sup>a</sup>	5,9 $\pm$ 0,40 <sup>b</sup>	<0,001
Proporción tejido muscular (%)	48,2 $\pm$ 3,40 <sup>a</sup>	33,1 $\pm$ 3,40 <sup>b</sup>	0,007

Las medias no acompañadas por literales iguales dentro de una misma fila fueron diferentes ( $P < 0,05$ ).

### Efectos en corderos neonatos

La subnutrición materna redujo el diámetro fibrilar, la cantidad de núcleos por fibra y la proporción de tejido muscular en el *Semiten-dinosus* neonatal (Cuadro 2).

### Efectos detectados en corderos pesados

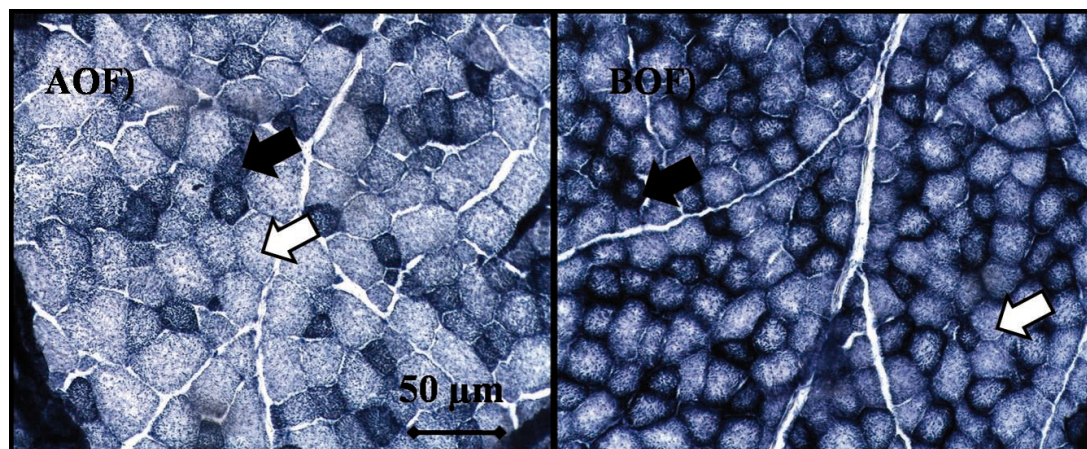
La subnutrición materna redujo el peso muscular, la proporción y el diámetro de fibras glicolíticas al tiempo que aumentó

la proporción de fibras oxidativas indistintamente del sexo (Figura 2; Cuadro 3). Por otra parte, la subnutrición materna afectó y tendió a afectar de un modo sexo-dependiente el peso muscular y el diámetro de las fibras oxidativas, respectivamente. Los corderos machos de BOF presentaron músculos más livianos y fibras oxidativas de menor diámetro al compararlos con los machos de AOF, no detectándose estos efectos entre las hembras de ambos grupos (Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Variables musculares medidas (medias  $\pm$  EEM) en corderos neonatos (Exp. 1).

Variables	Tratamientos		P valor
	AOF	BOF	
Diámetro fibrilar ( $\mu\text{m}$ )	25,1 $\pm$ 0,8 <sup>a</sup>	21,3 $\pm$ 0,8 <sup>b</sup>	0,0058
Densidad fibrilar/ $\mu\text{m}^2$ (x 10-4)	4,6 $\pm$ 0,35	3,7 $\pm$ 0,37	0,09
Núcleos por fibra	1,30 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	1,09 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>	<0,0001
Proporción tejido muscular (%)	53,3 $\pm$ 2,8 <sup>a</sup>	43,4 $\pm$ 2,8 <sup>b</sup>	0,025

Las medias no acompañadas por literales iguales dentro de una misma fila fueron diferentes ( $P < 0,05$ ).



**Figura 2.** Cortes transversales del *Semiten-dinosus* de corderos de 200 días gestados por ovejas del grupo AOF y BOF tratados con la técnica NADH-TZ. Flechas negras y blancas señalan fibras oxidativas y glicolíticas, respectivamente.

Cuadro 3. Variables musculares medidas en el *Semifitinosus* (medias  $\pm$  EEM) de corderos pesados (Exp. 2).

Variables	Tratamientos y sexos						P valor Trat	P valor Trat*sexo
	AOF		BOF		BOF			
	♂	♀	♂	♀	♂	♀		
Peso (g)	109,7 $\pm$ 4,57 <sup>a</sup>	89,3 $\pm$ 4,57	86,5 $\pm$ 4,88 <sup>b</sup>	89,4 $\pm$ 4,09	87,9 $\pm$ 3,18 <sup>b</sup>	87,9 $\pm$ 3,18 <sup>b</sup>	0,02	0,02
% Fibras Oxidativas	21,2 $\pm$ 2,1	17,8 $\pm$ 2,1	29,1 $\pm$ 2,1	23,8 $\pm$ 1,8	26,4 $\pm$ 1,4 <sup>a</sup>	26,4 $\pm$ 1,4 <sup>a</sup>	0,002	0,651
% Fibras glicolíticas	50,2 $\pm$ 2,1	56,8 $\pm$ 2,1	41,3 $\pm$ 2,1	45,8 $\pm$ 1,8	43,6 $\pm$ 1,4 <sup>b</sup>	43,6 $\pm$ 1,4 <sup>b</sup>	<,001	0,595
Diámetro Oxidativas ( $\mu$ m)	32,5 $\pm$ 2,2 <sup>a</sup>	30,9 $\pm$ 2,2	26,8 $\pm$ 2,2 <sup>b</sup>	31,0 $\pm$ 1,9	28,9 $\pm$ 1,8	28,9 $\pm$ 1,8	0,238	0,090
Diámetro Glicolíticas ( $\mu$ m)	44,8 $\pm$ 2,3	49,5 $\pm$ 2,3	41,5 $\pm$ 1,9	44,0 $\pm$ 1,9	42,8 $\pm$ 1,7 <sup>b</sup>	42,8 $\pm$ 1,7 <sup>b</sup>	0,033	0,576

Las medias no acompañadas por literales iguales dentro de una misma fila y un mismo sexo fueron diferentes ( $P < 0,05$ ).

## DISCUSIÓN

En el presente estudio, dado el período en el cual se aplicó la restricción nutricional en ambos experimentos, es probable que ambas fases miogénicas (hiperplásica e hipertrófica) hayan sido afectadas. En el ovino, la miogénesis hiperplásica culmina con la miogénesis secundaria (formación de fibras fetales secundarias) en torno al día 70 de gestación (Wilson *et al.*, 1992; Picard *et al.*, 2002; Fahey *et al.*, 2005) y de aquí en más, no está previsto un aumento en el número de fibras que constituyan los músculos. A partir de este momento el músculo crece a través de mecanismos hipertróficos que implican la síntesis masiva de proteínas miofibrilares y el aumento en tamaño de las fibras musculares previamente formadas. Nuestros resultados demuestran que una subnutrición materna inducida por una menor oferta de forraje de campo natural desde 23 días previos a la concepción afectan la miogénesis secundaria en el *Semitendinosus* fetal y comprometen la capacidad hipertrófica fibrilar, reduciendo el diámetro fibrilar en el mismo músculo de corderos neonatos. En general nuestros hallazgos confirman la teoría de que la formación de fibras secundarias es susceptible a los efectos ambientales durante el desarrollo (Zhu *et al.*, 2004; Quigley *et al.*, 2005; Tilley *et al.*, 2007) y revisten gran relevancia desde el punto de vista productivo, ya que las fibras secundarias son quienes constituirán la mayor parte de la población fibrilar adulta (Picard *et al.*, 2002). Por ende, esta reducción en número constatada en el momento aproximado en el que estas células dejan de formarse, indica que el desarrollo muscular y la potencialidad productiva de carne se verían comprometidas desde momentos muy prematuros de la gestación y el desarrollo fetal ovino. Al mismo tiempo, el hallazgo de una reducción en la cantidad de núcleos en el *Semitendinosus* de fetos de BOF sugiere una menor cantidad y/o actividad de mioblastos fetales durante la hiperplasia miogénica. De hecho, nuestro equipo ha demostrado que la subnutrición materna reduce la actividad mitótica de los mioblastos fetales en diferentes músculos de

fetos de 70 días de desarrollo (Ithurralde *et al.*, 2017; Ithurralde *et al.*, 2018 b). Esto es relevante dado que la cantidad de núcleos incorporados a las fibras musculares en desarrollo es considerada un factor clave sobre la posterior capacidad fibrilar de síntesis proteica e hipertrofia (Allen *et al.*, 1979). Estos hallazgos en fetos de 70 días enfatizan la importancia de la alimentación de la oveja en la primera mitad de la gestación. Nuestros resultados también demuestran una reducción en la cantidad de mionúcleos en el *Semitendinosus* de neonatos del grupo BOF. Esto podría contribuir a explicar el menor diámetro fibrilar detectado en los neonatos del grupo BOF. Por otra parte, nuestros resultados también indican que la subnutrición materna aumenta la proporción de tejido no muscular tanto en músculos fetales como neonatales. Estos hallazgos son relevantes dado que la cantidad de tejido conjuntivo intramuscular es determinante para la calidad de la carne y sobre todo para su terneza (Purslow, 2005). El aumento en el tejido no muscular evidenciado tanto en fetos como en neonatos podría explicarse por la relación competitiva que se establece entre los diferentes procesos ontogénicos conducentes al desarrollo de los principales tejidos del músculo (tejido muscular esquelético, tejido adiposo, tejido conjuntivo intramuscular). Dado que todas estas líneas tisulares derivan de los mismos progenitores mesenquimales, se ha sugerido que ante situaciones restrictivas, los tres procesos compiten entre sí en el reclutamiento de células mesenquimales, resultando en un mayor desarrollo de los tejidos no musculares en relación al músculo propiamente dicho (Du *et al.*, 2015).

Por otra parte, nuestros resultados también demuestran que los efectos generados por una subnutrición inducida por una menor oferta de forraje de campo natural gestacional se perpetúan en el tiempo y son capaces de generar cambios permanentes en el rendimiento carnicero y la composición fibrilar de corderos pesados de 200 días de vida. Aquellos corderos hijos de madres que durante la gestación padecieron subnutrición pastoreando campo natural a una baja oferta



mostraron músculos más livianos con cambios evidentes en su constitución fibrilar aun cuando desde el nacimiento hasta su faena fueron provistos de las mejores condiciones para su desempeño productivo. A pesar de que trabajos previos han evaluado el impacto de la subnutrición sobre la miogénesis en etapas fetales (Zhu *et al.* 2004) y neonatales (Fahey *et al.* 2005), los trabajos sobre efectos de largo plazo sobre la composición fibrilar a edades y/o pesos compatibles con faenas comerciales reportan efectos escasos y/o contradictorios (Zhu *et al.* 2006; Daniel *et al.*, 2007; Tygesen *et al.*, 2007; Sen *et al.*, 2016; Piaggio *et al.*, 2018). He ahí, la relevancia de nuestros resultados demostrando que una subnutrición gestacional se traduce en músculos con mayores proporciones de fibras oxidativas y con fibras glicolíticas de menor diámetro, lo que podría implicar cambios relevantes sobre la calidad de la carne de estos animales.

Finalmente, nuestros resultados no solo demuestran efectos de programación fetal por subnutrición sobre el desarrollo y la composición muscular sino que indican que algunos de estos efectos podrían operar de un modo sexo-dependiente. En general, los antecedentes evaluando efectos sexo-dependientes de programación fetal sobre el desarrollo muscular en ovinos son escasos y contradictorios (Nordby *et al.*, 1987; Daniel *et al.*, 2007; Sen *et al.*, 2016; Piaggio *et al.*, 2018). Hasta donde sabemos, solamente Daniel *et al.* (2007) reportaron efectos sexo-dependientes de programación fetal, en donde los machos y no las hembras nacidas de ovejas subnutridas presentaron músculos *Longissimus dorsi* más livianos y con mayor contenido lipídico. Nuestro equipo recientemente demostró que la subnutrición gestacional inducida por una menor oferta de campo natural genera efectos sexo-dependientes sobre el crecimiento, el desempeño productivo y el rendimiento carnicero de los corderos. La subnutrición gestacional redujo la tasa de

crecimiento y la ganancia diaria durante el engorde y produjo carcasas de peor calidad en los corderos machos, no observándose estas diferencias entre las corderas hembras de ambos tratamientos (Ithurralde *et al.*, 2019). Los resultados reportados en el presente trabajo son consistentes con estos hallazgos e indican que estos efectos sexo-dependientes podrían evidenciarse también en el peso y la composición fibrilar muscular.

## CONCLUSIONES

En síntesis, nuestros resultados indican que una menor oferta de campo natural durante la gestación induce una subnutrición materna que afecta el desarrollo muscular fetal, repercute en las características musculares neonatales y se perpetúa en el tiempo comprometiendo el rendimiento carnicero y la composición fibrilar en corderos pesados. A su vez, nuestros resultados sugieren que parte de estos efectos inducidos por la programación fetal podrían operar de un modo sexo-dependiente afectando principalmente a los corderos machos. Estos hallazgos revisten gran relevancia desde el punto de vista productivo pudiendo indicar que, en condiciones extensivas de pastoreo de campo natural, la capacidad productiva de carne y su calidad final podrían comenzar a verse comprometidas desde etapas muy prematuras del desarrollo fetal y que parte de estos efectos podrían ser más severos sobre machos que sobre hembras.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing. Agr. Carlos Mantero, Director de la Estación Experimental Bernardo Rosengurt, a Ignacio Sosa y Nicolás Zunino por su apoyo en el trabajo de campo y a INAC por el uso de su Unidad de Faena Móvil. Este trabajo fue parcialmente financiado con un proyecto CSIC-Iniciación/2017 obtenido por J. Ithurralde.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.E.; Merkel, R.A.; Young, R.B.** 1979. Cellular aspect of muscle growth: myogenic cell proliferation 1. *Journal of Animal Science*, 49(1), 115-127.
- Berretta, E.J.; San Julián, R.; Montossi, F.; Silva, J.A.** 1994. Pasturas naturales y producción ovina en la región de basalto en Uruguay. En: Congreso Mundial del Merino (4°, 1994, Montevideo, Uruguay). Memorias. Montevideo. S.U.L. pp 259-278.
- Daniel, Z.C.T.R.; Brameld, J.M.; Craigon, J.; Scollan, N.D.; Buttery, P.J.** 2007. Effect of maternal dietary restriction during pregnancy on lamb carcass characteristics and muscle fiber composition. *Journal of Animal Science*, 85: 1565-1576.
- Du, M.; Wang, B.; Fu, X.; Yang, Q.; Zhu, M.J.** 2015. Review: Fetal programming in meat production. *Meat Science*, 109: 40-47
- Fahey, A.J.; Brameld, J.M.; Parr, T.; Buttery, P.J.** 2005. The effect of maternal undernutrition before muscle differentiation on the muscle fiber development of the newborn lamb. *Journal of Animal Science*, 83: 2564-2571.
- Freitas-de-Melo, A.; Ungerfeld, R.; Hötzel, M.J.; Abud, M.J.; Alvarez-Oxiley, A.; Orihuela, A.; Pérez-Clariget, R.** 2015. Mother-young behaviours at lambing in grazing ewes: Effects of lamb sex and food restriction in pregnancy. *Applied Animal Behaviour Science*, 168, 31-36.
- Haydock, K.P.; Shaw, N.H.** 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(76), 663-670.
- Ithurralde, J.; Genovese, P.; Abud, M.J.; Pérez-Clariget, R.; Bielli, A.; López Pérez, A.** 2017. Ofertas de forraje de campo natural durante la gestación en ovinos: Inmunopositividad de PCNA en los músculos Psoas mayor, Gluteobiceps y Semimembranosus de fetos ovinos de 70 días de desarrollo. En: Jornadas Técnicas Veterinarias 2017. Facultad de Veterinaria, UdeLaR.
- Ithurralde, J.; Genovese, P.; Abud, M.J.; Pérez-Clariget, R.; Bielli, A.; López Pérez, A.** 2018. La oferta gestacional de campo natural afecta la expresión de PCNA y mio-genina en fetos ovinos. Jornadas de Investigación de la Facultad de Agronomía 2018. Facultad de Agronomía, UdeLaR.
- Ithurralde, J.; Bianchi, G.; Feed, O.; Nan, F.; Ballesteros, F.; Garibotto, G.; Bielli, A.** 2018. Variation in instrumental meat quality among 15 muscles from 14-month-old sheep and its relationship with fibre typing. *Animal Production Science*, 58(7) 1358-1365.
- Ithurralde, J.; Pérez-Clariget, R.; Corrales, F.; Fila, D.; López-Pérez, Á.; Marichal, M.; Bielli, A.** 2019. Sex-dependent effects of maternal undernutrition on growth performance, carcass characteristics and meat quality of lambs. *Livestock Science*, 221, 105-114.
- Lefaucheur, L.; Gerrard, D.** 2000. Muscle fiber plasticity in farm mammals. *Journal of Animal Science*, 77: 1-19.
- Nordby, D.J.; Field, R.A.; Riley, M.L.; Kercher, C.J.** 1987. Effects of maternal undernutrition during early pregnancy on growth, muscle cellularity, fiber type and carcass composition in lambs. *Journal of Animal Science*, 64: 1419-1427.
- Piaggio, L.** 2014. Suplementación de la recría y engorde de ovinos sobre campo natural. pp 45 En: Seminario de Actualización Técnica: Producción de Carne Ovina de Calidad. INIA Serie técnica 221. ISSN: 1688-9266.

- Piaggio, L.; Quintans, G.; San Julián, R.; Ferreira, G.; Ithurralde, J.; Fierro, S.; Pereira, A.S.C.; Baldi, S.; Bancho, G.** 2018. Growth, meat and feed efficiency traits of lambs born to ewes submitted to energy restriction during mid-gestation. *Animal*, 12(2), 256–264.
- Picard, B.; Lefaucheur, L.; Berri, C.; Duclos, M.** 2002. Muscle fibre ontogenesis in farm animal species. *Reproduction Nutrition Development*, EDP Sciences, 42 (5), pp.415-431.
- Purslow, P.P.** 2005. Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Science*, 70 (3):435-47.
- Quigley, S.P.; Kleemann, D.O.; Kakar, M.A.; Owens, J.A.; Natrass, G.S.; Maddocks, S.; Walker, S.K.** 2005. Myogenesis in sheep is altered by maternal feed intake during the peri-conception period. *Animal Reproduction Science*, 87(3-4), 241-251.
- Sen, U.; Sirin, E.; Yildiz, S.; Aksoy, Y.; Ulutas, Z.; Kuran, M.** 2016. The effect of maternal nutrition level during the periconception period on fetal muscle development and plasma hormone concentrations in sheep. *Animal*, 10(10), 1689-1696.
- Tilley, R.E.; McNeil, C.J.; Ashworth, C.J.; Page, K.R.; McArdle, H.J.** 2007. Altered muscle development and expression of the insulin-like growth factor system in growth retarded fetal pigs. *Domestic animal endocrinology*, 32(3), 167-177.
- Tygesen, M. P.; Harrison, A. P.; Therkildsen, M.** 2007. The effect of maternal nutrient restriction during late gestation on muscle, bone and meat parameters in five month old lambs. *Livestock Science*, 110(3), 230-241.
- Van Soest, P.V.; Robertson, J.B.; Lewis, B.A.** 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
- Wilson, S.J.; McEwan, J.C.; Sheard, P.W.; Harris, A.J.** 1992. Early stages of myogenesis in a large mammal: formation of successive generations of myotubes in sheep tibialis cranialis muscle. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 5:534-50.
- Zhu, M.J.; Ford, S.P.; Nathanielsz, P.W.; Du, M.** 2004. Effect of maternal nutrient restriction in sheep on the development of fetal skeletal muscle. *Biology of reproduction*, 71: 1968-1973.
- 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: 241-250.



# REALIMENTAR LAS OVEJAS *AD LIBITUM* LUEGO DE UNA RESTRICCIÓN ENERGÉTICA DURANTE LA MITAD DE LA GESTACIÓN NO AFECTÓ EL DESEMPEÑO ANIMAL, LA EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DEL ALIMENTO Y LA CALIDAD DE LA CARNE DE LOS CORDEROS

S. Luzardo<sup>1</sup>, G. de Souza<sup>1</sup>, D. González<sup>2</sup>, G. Quintans<sup>3</sup>, G. Banchemo<sup>4</sup>

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la restricción de energía en ovejas desde el día 48 al 106 de gestación y posterior realimentación *ad libitum*, en el desempeño pre y postdestete, calidad de la canal y la carne de sus corderos. Las ovejas gestando corderos únicos o mellizos fueron asignadas a dos tratamientos nutricionales desde el día 48 hasta el día 106 de gestación: restringido (R;  $n = 60$ ) al 60% de sus requerimientos de energía metabolizable (EM), o no restringido (NR;  $n = 54$ ) al 100% de sus requerimientos de ME. Luego del período de restricción, las ovejas pastorearon todas juntas *ad libitum* hasta el destete. Posteriormente, los corderos machos comenzaron una fase de engorde en confinamiento hasta la faena. Se determinó el peso corporal de las ovejas durante el período experimental y al destete. Se registraron la carga fetal y el sexo de los corderos, y se midió el consumo de alimento y el peso corporal de éstos desde el nacimiento hasta el sacrificio. Luego de la faena, se determinaron: el peso de la canal caliente (PCC) y su rendimiento (RC), la profundidad del tejido subcutáneo (punto GR), longitud de la canal (LC) y de la pierna (LP), pesos de las piernas (PSH) y del frenched rack (FR). Transcurridos 5 días de almacenamiento de la carne (maduración), se determinó su color instrumentalmente y la fuerza de corte (Warner-Bratzler) en el músculo *Longissimus lumborum*. Las ovejas NR pesaron 7,5 kg más que

las ovejas R ( $P < 0,05$ ) al final del período de restricción. El peso al nacer del cordero (PN) no se vio afectado ( $P > 0,05$ ) por el tratamiento dietario de sus madres, aunque los corderos machos y únicos presentaron un PN mayor ( $P < 0,05$ ) que las hembras y los mellizos, respectivamente. No se observaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en el peso al destete (PD) entre los tratamientos nutricionales de las ovejas o el sexo del cordero. El consumo promedio estimado de leche por cordero no se vio afectado ( $P > 0,05$ ) por la restricción nutricional de las ovejas ni por la carga fetal. Los corderos nacidos de ovejas R o NR no difirieron ( $P > 0,05$ ) en la eficiencia de conversión (EC) de la leche, mientras que los corderos mellizos fueron más eficientes ( $P < 0,05$ ) que los nacidos únicos. Los corderos machos nacidos de ovejas R y NR no difirieron ( $P > 0,05$ ) en el PD, el peso vivo final, el consumo de alimento y la EC durante la fase de engorde. El peso de la canal caliente (PCC), rendimiento de la canal (RC), punto GR, LC y LP no se vieron afectados ( $P > 0,05$ ) por la restricción energética de las ovejas ni por la carga fetal. La luminosidad de la carne (parámetro  $L^*$ ) fue mayor ( $P < 0,05$ ) en corderos nacidos de ovejas R que NR. Las ovejas restringidas al 60% de sus requerimientos de EM en la mitad de la gestación, parecen tener la capacidad de compensar cualquier efecto negativo sobre el crecimiento y desarrollo del cordero, siempre y cuando existan condiciones adecuadas de realimentación en la gestación tardía y durante la lactancia.

<sup>1</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Tacuarembó, Uruguay

<sup>2</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA La Estanzuela, Uruguay.

<sup>3</sup> Programa Nacional de Investigación en Producción de Carne y Lana, INIA Treinta y Tres, Uruguay

**Palabras clave:** programación fetal, cordero, restricción nutricional, crecimiento, calidad de carne.

## ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate maternal energy restriction in ewes from day 48 to 106 of gestation on pre- and post-weaning lambs' performance, carcass and meat quality when their dams were fed *ad libitum* after the restriction period. Ewes bearing single or twin lambs were assigned to two dietary treatments from day 48 to day 106 of gestation: restricted (R;  $n = 60$ ) at 60% of their metabolizable energy (ME) requirements, or non-restricted (NR;  $n = 54$ ) at 100% of their ME requirements. After the restriction period ewes grazed all together *ad libitum* until weaning. Subsequently, male lambs were placed in a feedlot until slaughter. Ewes body weight was recorded during nutritional treatment application and at weaning. Litter size and lamb sex were recorded, and feed intake and body weight were measured from birth until slaughter. After slaughter, carcass weight and yield, subcutaneous tissue depth (GR site), carcass (CL) and leg length (LL), frenched rack (FR) and leg weights were determined. After 5 days of meat aging, color parameters and Warner-Bratzler shear force were determined on *Longissimus lumborum* muscle. Non-restricted ewes weighed 7.5 kg more than R ewes ( $P < 0.05$ ) at the end of the restriction period. Lamb birth weight (BW) was not affected ( $P > 0.05$ ) by dams' treatment although male and single lambs had a greater ( $P < 0.05$ ) BW than females and twins, respectively. No significant differences ( $P > 0.05$ ) were detected on the weaning weight between ewes' feeding treatments or lamb sex. Estimated average milk intake by lambs was not affected ( $P > 0.05$ ) by dams' treatments and litter size. Lambs born to R or NR ewes did not differ ( $P > 0.05$ ) in feed conversion ratio (FCR) of milk, while twins were more efficient ( $P < 0.05$ ) than single-born. Male lambs from R and NR ewes did not differ ( $P > 0.05$ ) in weaning and final weight, feed intake and FCR during the fattening phase. Slaughter and hot carcass weight, carcass yield (CYd), GR, CL and LL

were not affected ( $P > 0.05$ ) by treatment and litter size. Brightness of meat ( $L^*$  value) was greater ( $P < 0.05$ ) in lambs from R ewes than NR. Ewes restricted at 60% of their ME requirements in mid-gestation seems to have the capacity to compensate any detrimental effects on lamb growth and development if adequate refeeding conditions are provided in late gestation and throughout lactation.

**Keywords:** fetal programming, lamb, nutritional restriction, growth, meat quality.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas extensivos de producción ovina en Uruguay están sujetos a cierto grado de restricción nutricional en las ovejas durante la gestación, debido a la baja calidad y disponibilidad de las pasturas naturales en invierno (Bermúdez y Ayala, 2005).

Wu *et al.* (2006) indicaron que alteraciones en la nutrición fetal y balance endócrino pueden dar lugar a adaptaciones en el desarrollo fetal que cambien permanentemente la estructura, fisiología, metabolismo y crecimiento post nacimiento del recién nacido. Una adecuada nutrición materna proporciona los nutrientes necesarios para la proliferación celular miogénica y, por lo tanto, la formación de fibras musculares (Du *et al.*, 2017).

La restricción nutricional prenatal en la madre (desde el día 30 a 70 de gestación) durante el período de diferenciación muscular ha mostrado un aumento en las fibras musculares tipo IIB y de la grasa intramuscular; no obstante, los efectos sobre la posterior calidad de la canal de los corderos podrían ser no muy significativos (Daniel *et al.*, 2007). En este sentido, ovejas con restricción nutricional durante la gestación temprana o media no han presentado un efecto negativo importante en la calidad de la canal, terneza de la carne y características de las fibras musculares (Nordby *et al.*, 1987; Piaggio *et al.*, 2018). Sin embargo, la restricción nutricional durante la gestación tardía de la oveja tiene un importante efecto negativo sobre el crecimiento post nacimiento del cordero, debido

un retardado desarrollo placentario y crecimiento fetal (Taplin y Everitt, 1964).

Aunque la capacidad de transferencia de nutrientes de la placenta responde a estímulos ambientales, ésta se adapta para mantener el suministro de nutrientes al feto, particularmente cuando la placenta es pequeña (Fowden *et al.*, 2006). Por lo tanto, el menor efecto de la restricción nutricional de las ovejas durante la gestación temprana y media en el posterior desempeño del cordero podría explicarse por una compensación a nivel uterino durante el último tercio de gestación y/o durante la lactancia cuando las ovejas son alimentadas *ad libitum* (Krausgrill *et al.*, 1999; Piaggio *et al.*, 2018).

Con el fin de estudiar la magnitud de los procesos antes mencionados, el presente trabajo evaluó el desempeño de los corderos durante la lactancia y en la fase de engorde, midiendo el consumo y eficiencia de conversión de la leche materna y de la ración totalmente mezclada (RTM). La hipótesis del estudio fue que los corderos nacidos de ovejas sometidas a una restricción nutricional energética desde el día 48 al 106 de gestación, no presentarían efectos negativos en el desempeño animal pre y post destete, calidad de la canal y la carne, cuando sus madres fueron alimentadas *ad libitum* luego del período de restricción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en la Unidad Ovinos de la Estación Experimental INIA La Estanzuela (34° 20' 23.72" S – 57° 41' 39.48" O). Los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité de Ética Animal del INIA (número 2016.48).

### Procedimiento experimental

Ovejas Ideal adultas (4 años de edad y múltiples) fueron sincronizadas utilizando una doble dosis de 160 mg de d-Cloprostenol (Veteglan Laboratorio Calier, Barcelona, España) y apareadas colectivamente en el segundo celo luego de la sincronización con 6

carneros/100 ovejas de la raza Finnish. Ciento catorce ovejas ( $44,2 \pm 4,9$  kg PV) gestando corderos únicos ( $n = 75$ ) o mellizos ( $n = 39$ ) fueron asignadas a 2 tratamientos nutricionales desde el 48 al 106 de gestación: a) restringidas (R), ovejas a las cuales se les ofreció una ración totalmente mezclada (RTM) (871,6 g MS/kg; 145,7 g PC/kg MS; 212,0 g FDA/kg MS, 344,8 g FDN/kg MS y 11,09 MJ EM/kg MS) que suministraba el 60% de sus requerimientos de energía metabolizable (EM), y b) no restringidas (NR), ovejas a las que se les ofreció la misma RTM pero que cubría el 100% de sus requerimientos de EM (Graz Feed™, 2010). Durante la aplicación de los tratamientos experimentales, las ovejas fueron alimentadas grupalmente en corrales, con un área de 30 m<sup>2</sup>/oveja. Desde el día 107 de gestación hasta 10 días antes de la fecha esperada de parto, las ovejas pastorearon avena (1800 kg MS/ha; 158,6 g PC/kg MS, 354,0 g FDA/kg MS y 531,5 g FDN/kg MS y 9,92 MJ EM/kg MS) *ad libitum* (> 12 kg MS/100 kg PV), siendo suplementadas los últimos 10 días de gestación con 0,2 kg MS de grano de cebada por oveja (895,7 g MS/kg; 117,5 g PC/kg MS; 91,3 g FDA/kg MS; 27,8 g FDN/kg MS y 13,05 MJ EM/kg MS). Durante la lactancia, todas las ovejas pastorearon conjuntamente en pasturas mejoradas, y los corderos fueron destetados a una edad promedio de 96 días. Las ovejas se pesaron cada 14 días desde el inicio de los tratamientos experimentales hasta el parto.

### Determinaciones y manejo de los corderos

Al nacimiento los corderos fueron identificados con una caravana, registrándose el peso y sexo de éstos. Posteriormente, los corderos fueron pesados cada 14 días hasta su sacrificio. La producción de leche por oveja fue considerada como la ingesta total de alimento por parte del cordero (o los corderos en el caso de mellizos), la cual se estimó a través del ordeño de éstas cada 14 días. Durante la lactancia, se ordeñaron 44 ovejas (22 R y 22 NR) y se evaluaron 64 corderos (32 de ovejas R y 32 de ovejas NR; 40 hembras y 24 machos; 40 mellizos y 24 únicos).

Para determinar la producción de leche, las ovejas que estaban pastoreando se traían a las mangas temprano en la mañana y sus corderos eran retirados, pesados y mantenidos en un corral con acceso a heno de calidad y agua *ad libitum*. Las ovejas fueron ordeñadas manualmente luego de una inyección intramuscular de 1 UI de oxitocina, registrándose el tiempo de ordeño de cada oveja. Posteriormente, las ovejas regresaron a la pastura y aproximadamente 4 horas después fueron ordeñadas nuevamente con el mismo procedimiento. Luego de registrar individualmente el tiempo de ordeño, se pesó la leche de cada oveja y se tomaron muestras (aproximadamente 40 ml) que fueron conservadas en Lactopol® (2-Bromo-2-Nitropropano-1,3-diol) congeladas (-15°C), hasta la determinación del contenido total de sólidos utilizando un analizador de leche Lactoscan (Milkotronic, Nova Zagora, Bulgaria). La producción de leche se estimó a partir del peso de la leche obtenida en el segundo ordeño dividido por los minutos entre ambos ordeños y luego extrapolado a una producción de 24 horas (Doney *et al.*, 1979). Los corderos regresaron con sus madres al finalizar todo el proceso de ordeño.

Luego del destete, solo se utilizaron corderos machos (evaluados en la fase de lactancia y otros no evaluados durante la lactancia, pero sí sometidos a los mismos tratamientos experimentales) para la fase de engorde y evaluaciones de calidad de la canal y la carne. Cincuenta y cinco corderos machos (24 corderos de ovejas R y 31 de ovejas NR; 28 corderos únicos y 27 mellizos) fueron asignados a corrales individuales (5 m<sup>2</sup>/cordero) en donde fueron alimentados *ad libitum* con una RTM de terminación (893,4 g de MS/kg; 187,9 g PC/kg MS; 275,5 g FDA/kg MS; 396,3 g FDN/kg MS y 10,42 MJ EM/kg MS) hasta su sacrificio. Se realizó un período de 15 días de adaptación a la nueva dieta en donde los corderos fueron alimentados con heno de alfalfa (934,3 g MS/kg; 175,6 g PC/kg MS; 302,0 g FDA/kg MS; 426,7 g FDN/kg MS y 10,54 MJ EM/kg MS) y niveles crecientes de RTM. La oferta de RTM se manejó de manera de permitir un 10% de remanente y fue ofrecido en

tres comidas (08:00, 12:00 y 16:00 horas). El remanente de RTM se midió diariamente previo a ofrecer la comida de la mañana para estimar el consumo de alimento.

### **Determinaciones de calidad de la canal y carne**

Los 55 corderos machos fueron faenados a una edad promedio de 190 días en un establecimiento frigorífico comercial. Se determinaron: el peso vivo al sacrificio (PVS), el peso de la canal caliente (PCC) y el rendimiento de la canal (RC). Luego de la faena, las canales se mantuvieron en cámara de frío (2-3°C) durante 24 horas y posteriormente, se midió la longitud de la canal (LC) y de la pierna (LP), la profundidad total de tejido sobre la 12va costilla a 11 cm de la línea media de la canal (punto GR). En el desosado, se registraron los pesos de las piernas deshuesadas (PSH) y de los frenched racks (FR). Se obtuvieron además muestras del músculo *Longissimus lumborum* (bife) de cada canal que fueron envasadas al vacío para ser debidamente trasladadas al Laboratorio de Tecnología de la Carne de INIA Tacuarembó. Luego de 5 días de almacenamiento de las muestras (maduración) entre 0-2°C, se determinó el color de la carne instrumentalmente (CIE, L\*: luminosidad, a\*: intensidad de rojo y b\*: intensidad de amarillo) en cada muestra por triplicado con un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Japón). Se determinó también la fuerza de corte con un equipo Warner-Bratzler (WBSF; modelo D2000-WB, G-R Electric Manufacturing Co, Manhattan, KS) de acuerdo con el protocolo de la American Meat Science Association (AMSA, 2016). Los bifes fueron cocinados en grilles (GRP100 The Next Grillation, Spectrum Brands, Inc., Miami, FL) hasta alcanzar una temperatura interna de 71°C. Luego de la cocción y enfriado de los bifes, se obtuvieron 6 cilindros (1,27 cm de diámetro) de cada muestra de carne de forma paralela a la orientación longitudinal de las fibras musculares. Los 6 valores individuales de la fuerza de corte de cada muestra se promediaron de manera de obtener un único valor por muestra.



## Análisis estadístico

Las variables respuesta hasta el destete fueron analizadas como un diseño factorial 2 x 2 x 2, considerando como efectos fijos el tratamiento nutricional (R o NR) de las ovejas, sexo (macho o hembra) del cordero, y carga fetal (único o mellizos) mientras que el animal fue considerado como efecto aleatorio. El análisis estadístico se llevó adelante mediante el procedimiento PROC MIXED del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, versión 9.4). El peso vivo de las ovejas y los corderos se analizó como medidas repetidas en el tiempo siendo las estructuras de covarianza no estructuradas (UN) y autorregresivas (AR [1]) las que mejor se ajustaron a los datos, respectivamente, basados en el criterio de información de Akaike (AIC). Luego del destete, solo continuaron en el experimento corderos machos que se engordaron hasta su faena, por lo tanto, los factores evaluados fueron el tratamiento nutricional de sus madres (R o NR) y la carga fetal (único o mellizos) como efectos fijos y el efecto aleatorio del animal. El PVS se utilizó como covariable para analizar el PCC, el cual a su vez se utilizó como covariable para

analizar las variables de la canal. La homogeneidad de la varianza y normalidad de los datos fue analizada a partir de los gráficos de los residuos estudentizados. Se utilizó la aproximación de Kenward-Roger para calcular los grados de libertad del denominador para diferentes estructuras de covarianza a efectos de ajustar el estadístico F. Luego del análisis de varianza (ANOVA), se calcularon las medias de mínimos cuadrados para las comparaciones entre tratamientos con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ , utilizando la opción PDIFF del LSMEANS, cuando las pruebas F fueron significativas ( $P < 0,05$ ).

## RESULTADOS

Respecto al desempeño de las ovejas, no se observaron diferencias ( $P > 0,05$ ) en el peso vivo al comienzo del período de restricción energética, pero las ovejas NR pesaron 7,5 kg más ( $P < 0,05$ ) que las R al final de dicho período (Cuadro 1). Como era de esperar, las ovejas que gestaron mellizos presentaron un mayor peso vivo ( $P < 0,05$ ) al comienzo y al final del período de restricción nutricional que aquellas que gestaron corderos únicos (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Peso vivo de las ovejas al inicio y fin del período de restricción y al momento del destete, según tratamiento nutricional, carga fetal y su interacción.

	Tratamiento (Trt) <sup>1</sup>		Carga fetal (CF)		P valor		
	R (n = 60)	NR (n = 54)	Únicos (n = 75)	Mellizos (n = 39)	Trt	CF	Trt x CF
PV inicial ovejas (kg)	44,8±0,9	44,7±0,9	42,5 <sup>b</sup> ±0,8	47,0 <sup>a</sup> ±0,9	0,9921	0,0009	0,0354
PV final ovejas (kg)	49,3 <sup>b</sup> ±0,9	56,8 <sup>a</sup> ±0,9	49,9 <sup>b</sup> ±1,0	56,3 <sup>a</sup> ±1,1	0,0017	0,0002	0,0846
PV destete ovejas (kg)	48,7±0,9	49,7±0,9	48,2±0,8	50,3±1,0	0,4383	0,1093	0,0881

<sup>1</sup> Tratamiento: R: RTM suministrando 60% de los requerimientos de energía metabolizable (EM) desde el día 48 al 106 de gestación; NR: RTM suministrando 100% de los requerimientos de EM desde el día 48 al 106 de gestación.

<sup>a,b</sup> Medias de Mínimos Cuadrados con diferentes letras en la misma fila difieren significativamente ( $P < 0,05$ ).

El plano nutricional al cual fueron sometidas las ovejas durante la gestación media no afectó ( $P>0,05$ ) el peso al nacer (PN) de los corderos; no obstante, los corderos machos y los únicos pesaron significativamente más ( $P<0,05$ ) que las hembras y los mellizos, respectivamente (Cuadro 2). No se observaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en el peso al destete (PD) ni la ganancia media diaria (GMD) pre-destete de los corderos entre los tratamientos nutricionales de las ovejas o el sexo de los corderos. Sin embargo, el PD de los corderos únicos fue 22% mayor ( $P<0,05$ ) que el de los mellizos con una GMD pre-destete superior ( $P<0,05$ ) a la de éstos en casi 55 g/a/d (Cuadro 2). La restricción nutricional de las ovejas y la carga fetal no afectaron ( $P>0,05$ ) el consumo promedio de leche y de sólidos totales por parte de los corderos. La eficiencia de conversión de la leche no difirió ( $P>0,05$ ) entre corderos nacidos de ovejas R o NR, pero los corderos mellizos fueron más eficientes ( $P<0,05$ ) que los nacidos únicos (Cuadro 2).

En la fase de engorde, los corderos machos nacidos de ovejas R y NR no difirieron ( $P>0,05$ ) en el peso vivo final (PF) ni en la GMD. Sin embargo, los corderos únicos presentaron un PF mayor ( $P<0,05$ ) que los mellizos (Cuadro 3). El plano nutricional de la oveja del día 48 al 106 de gestación no afectó ( $P>0,05$ ) el consumo de alimento por parte

de los corderos durante la fase de engorde y tampoco se observaron diferencias ( $P>0,05$ ) en el consumo entre corderos nacidos únicos y mellizos. La EC del alimento durante la fase de engorde no difirió ( $P>0,05$ ) entre corderos nacidos de ovejas R y NR, pero los mellizos fueron más eficientes ( $P<0,05$ ) al convertir el alimento en ganancia de peso que los nacidos únicos (Cuadro 3).

El plano de alimentación de las ovejas durante la gestación media no afectó ( $P>0,05$ ) el PVS, pero los corderos únicos fueron 5 kg más pesados ( $P<0,05$ ) que los mellizos. El PCC, RC, punto GR, LC y LP de los corderos no se vieron afectados ( $P>0,05$ ) por el tratamiento de alimentación al cual fueron sometidas sus madres, no por la carga fetal. El peso del FR y su proporción respecto al PCC fueron mayores ( $P<0,05$ ) en corderos nacidos de ovejas NR que aquellos nacidos de madres R (Cuadro 4). Las características de calidad de la carne no se vieron afectadas ( $P>0,05$ ) mayormente por el plano nutricional de las ovejas en gestación media, excepto el parámetro  $L^*$  (luminosidad) del color de la carne cuyo valor fue mayor ( $P<0,05$ ) en corderos nacidos de ovejas R. Adicionalmente, los corderos nacidos únicos presentaron un mayor valor ( $P<0,05$ ) del parámetro  $b^*$  (intensidad de amarillo) del color de la carne que los mellizos (Cuadro 4).

**Cuadro 2.** Desempeño de los corderos desde su nacimiento hasta el destete, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal, sexo del cordero y sus interacciones.

	Tratamiento (Trt) <sup>1</sup>				Carga fetal (CF)				P valor			
	R		Sexo		Sexo		Mellizos		Trt x Sexo		Trt x Sexo x CF	
	(n = 32)	NR (n = 32)	Macho (n = 24)	Hembra (n = 40)	Únicos (n = 24)	Mellizos (n = 40)	Trt	Sexo	CG	Trt x Sexo	Trt x Sexo x CF	
Peso nacer (kg)	4,15±0,11	4,30±0,10	4,38 <sup>a</sup> ±0,12	4,07 <sup>b</sup> ±0,09	4,75 <sup>a</sup> ±0,12	3,70 <sup>b</sup> ±0,09	0,3247	0,0385	<0,0001	0,7472	0,8303	0,1598
Peso destete (kg)	23,09±0,35	23,54±0,33	23,76±0,39	22,87±0,30	25,30 <sup>a</sup> ±0,44	21,33 <sup>b</sup> ±0,33	0,9997	0,8600	<0,0001	0,6381	0,0412	0,2546
GMD <sup>2</sup> destete (g/d)	201,7±5,72	207,0±5,22	211,1±6,09	197,6±4,78	231,7 <sup>a</sup> ±6,01	177,0 <sup>b</sup> ±4,89	0,4911	0,0865	<0,0001	0,0692	0,6855	0,4464
Prod. leche/d <sup>3</sup> (kg)	1,337±0,085	1,413±0,089	-	-	1,355±0,085	1,395±0,089	0,5425	-	0,7436	-	0,4084	-
Prod. ST/d <sup>4</sup> (kg)	0,238±0,014	0,253±0,015	-	-	0,243±0,014	0,248±0,015	0,4743	-	0,7912	-	0,8499	-
EC <sup>5</sup> leche (kg/kg)	4,906±0,306	4,959±0,322	-	-	5,860 <sup>a</sup> ±0,306	4,005 <sup>b</sup> ±0,322	0,9055	-	0,0002	-	0,0777	-

<sup>1</sup> Tratamiento: R: RTM suministrando 60% de los requerimientos de energía metabolizable (EM) desde el día 48 al 106 de gestación; NR: RTM suministrando 100% de los requerimientos de EM desde el día 48 al 106 de gestación.

<sup>2</sup> Ganancia media diaria promedio de los corderos desde el nacimiento hasta el destete.

<sup>3</sup> Producción diaria promedio de leche por oveja (estimador del consumo de leche por cordero o corderos en el caso de los mellizos).

<sup>4</sup> Producción diaria promedio de sólidos totales de la leche por oveja (estimador del consumo de leche por cordero o corderos en el caso de los mellizos).

<sup>5</sup> Eficiencia de conversión de la leche expresada como consumo de leche por kilogramo de ganancia de peso.

<sup>a,b</sup> Medias de Mínimos Cuadrados con diferentes letras en la misma fila difieren significativamente (P<0,05).

**Cuadro 3.** Desempeño de los corderos machos durante la fase de engorde, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal y su interacción.

	Tratamiento (Trt) <sup>1</sup>		Carga fetal (CF)		Trt	P valor	
	R (n = 24)	NR (n = 31)	Únicos (n = 28)	Mellizos (n = 27)		CF	Trt x CF
PV inicial <sup>2</sup> (kg)	30,2±0,7	30,2±0,6	33,2 <sup>a</sup> ±0,7	27,2 <sup>b</sup> ±0,7	0,9710	<0,0001	0,1535
PV final <sup>3</sup> (kg)	42,6±0,9	42,6±0,7	45,3 <sup>a</sup> ±0,8	40,0 <sup>b</sup> ±0,8	0,9924	<0,0001	0,3886
GMD <sup>4</sup> (g/d)	214±7,2	214±6,3	208±6,6	220±7,0	0,9348	0,2334	0,4844
Consumo <sup>5</sup> (kg/d)	1,463±0,030	1,428±0,026	1,485±0,027	1,407±0,029	0,3789	0,0544	0,8825
EC <sup>6</sup> (kg/kg)	6,99±0,21	6,81±0,19	7,26 <sup>a</sup> ±0,20	6,54 <sup>b</sup> ±0,21	0,5161	0,0144	0,3166

<sup>1</sup> Tratamiento: R: RTM suministrando 60% de los requerimientos de energía metabolizable (EM) desde el día 48 al 106 de gestación; NR: RTM suministrando 100% de los requerimientos de EM desde el día 48 al 106 de gestación.

<sup>2</sup> Peso vivo de los corderos machos al inicio de la fase de engorde.

<sup>3</sup> Peso vivo de los corderos machos al finalizar la fase de engorde.

<sup>4</sup> Ganancia media diaria de los corderos machos durante la fase de engorde.

<sup>5</sup> Consumo promedio de la ración totalmente mezclada (RTM) por parte de los corderos machos durante la fase de engorde.

<sup>6</sup> Eficiencia de conversión de la ración expresada como consumo de RTM por kilogramo de ganancia de peso.

<sup>a,b</sup> Medias de Mínimos Cuadrados con diferentes letras en la misma fila difieren significativamente (P<0,05).

**Cuadro 4.** Características de la canal y la carne de los corderos machos, según tratamiento nutricional de las ovejas, carga fetal y su interacción.

	Tratamiento (Trt) <sup>1</sup>		Carga fetal (CF)		P valor		
	R (n = 24)	NR (n = 31)	Únicos (n = 28)	Mellizos (n = 27)	Trt	CF	Trt x CF
PVS <sup>2</sup> (kg)	37,5±0,7	37,3±0,6	39,9 <sup>a</sup> ±0,7	34,9 <sup>b</sup> ±0,7	0,8254	<0,0001	0,2616
PCC <sup>3</sup> (kg)	19,3±0,1	19,5±0,1	19,5±0,1	19,3±0,2	0,5453	0,3311	0,1257
Rend. Canal <sup>4</sup> (%)	51,8±0,4	52,0±0,3	52,2±0,35	51,6±0,4	0,7210	0,3653	0,1125
Punto GR <sup>5</sup> (mm)	15,1±0,7	15,0±0,6	14,8±0,7	15,3±0,7	0,9223	0,6933	0,5060
LC <sup>6</sup> (cm)	64,5±0,5	64,1±0,4	64,7±0,6	63,8±0,5	0,4741	0,2247	0,8300
LP <sup>7</sup> (cm)	36,6±0,2	36,6±0,2	36,6±0,3	36,6±0,3	0,8346	0,9790	0,0548
Peso FR <sup>8</sup> (g)	439 <sup>b</sup> ±5,1	459 <sup>a</sup> ±4,5	447±5,3	451±5,5	0,0051	0,5624	0,4025
Peso PSH <sup>9</sup> (g)	1842±15,9	1842±13,8	1833±16,4	1852±17,0	0,9927	0,4675	0,7209
Rend. FR <sup>10</sup> (%)	2,26 <sup>b</sup> ±0,03	2,37 <sup>a</sup> ±0,02	2,31±0,03	2,33±0,03	0,0052	0,5660	0,3418
Rend. PSH <sup>11</sup> (%)	9,53±0,08	9,53±0,07	9,47±0,08	9,59±0,08	0,9822	0,3636	0,7928
FC 5 d <sup>12</sup> (kg)	3,09±0,22	3,29±0,19	2,92±0,22	3,47±0,24	0,4947	0,1296	0,0948
Color de la carne							
L* <sup>13</sup> - 5 d	41,8 <sup>a</sup> ±0,4	40,7 <sup>b</sup> ±0,3	41,1±0,3	41,4±0,3	0,0352	0,6056	0,0953
a* <sup>14</sup> - 5 d	20,2±0,3	19,8±0,3	20,5±0,3	19,5±0,3	0,3336	0,0556	0,3797
b* <sup>15</sup> - 5 d	5,7±0,2	5,9±0,3	6,4 <sup>a</sup> ±0,3	5,3 <sup>b</sup> ±0,3	0,5689	0,0176	0,8949

<sup>1</sup> Tratamiento: R: RTM suministrando 60% de los requerimientos de energía metabolizable (EM) desde el día 48 al 106 de gestación; NR: RTM suministrando 100% de los requerimientos de EM desde el día 48 al 106 de gestación.

<sup>2</sup> Peso vivo de los corderos machos previo al sacrificio.

<sup>3</sup> Peso de la canal caliente, ajustado por el PVS.

<sup>4</sup> Rendimiento de la canal: (PCC/PVS) x 100, ajustado por el PCC.

<sup>5</sup> Espesor del tejido subcutáneo medido sobre la 12<sup>a</sup> costilla a 11 cms. de la línea media de la canal (punto GR), ajustado por el PCC

<sup>6</sup> Largo de la canal, ajustado por el PCC.

<sup>7</sup> Largo de la pierna, ajustado por el PCC.

<sup>8</sup> Peso del frenched rack, ajustado por el PCC.

<sup>9</sup> Peso de la pierna sin hueso y con cuadril, ajustado por el PCC.

<sup>10</sup> Rendimiento del frenched rack (FR): peso del FR/PCC, ajustado por el PCC.

<sup>11</sup> Rendimiento de la pierna sin hueso y con cuadril (PSH): peso de la PSH/PCC, ajustado por el PCC.

<sup>12</sup> Fuerza de corte con 5 días de maduración de la carne.

<sup>13</sup> Parámetro L\* (luminosidad) del color de la carne.

<sup>14</sup> Parámetro a\* (intensidad de rojo) del color de la carne.

<sup>15</sup> Parámetro b\* (intensidad de amarillo) del color de la carne.

<sup>a,b</sup> Medias de Mínimos Cuadrados con diferentes letras en la misma fila difieren significativamente (P<0,05).

## DISCUSIÓN

El presente trabajo evaluó el efecto de la restricción nutricional energética en ovejas durante el segundo tercio de gestación (día 48 al 106 de gestación), seguida de una fase de realimentación *ad libitum* durante la gestación tardía y la lactancia, en el desempeño animal, eficiencia de conversión del alimento, y calidad de la canal y carne de los corderos.

El plano nutricional de las ovejas durante el segundo tercio de gestación no afectó el PN de los corderos, lo cual coincide con lo observado por Ford *et al.* (2007), en donde ovejas alimentadas al 50% de sus requerimientos desde el día 28 al 78 de gestación, produjeron corderos sin diferencias significativas en el peso al nacer en comparación con el grupo control. No obstante, es importante considerar que el período de restricción no fue exactamente el mismo al del presente estudio. Del mismo modo, Piaggio *et al.* (2018) tampoco observaron diferencias en el PN de corderos nacidos de ovejas con restricción energética del 40% de sus requerimientos de EM desde el día 45 al 115 de gestación. En un estudio de metaanálisis, Roca Fraga *et al.* (2018) reportaron que la restricción en la alimentación materna durante la gestación temprana y media no tuvo un efecto significativo sobre el PN del cordero, pero una restricción nutricional en la gestación tardía estuvo asociada con una disminución de hasta el 22% en el PN del cordero. Taplin y Everitt (1964) observaron que el retraso en el desarrollo placentario y el crecimiento fetal antes del día 90 de gestación, debido a una restricción nutricional materna, puede ser parcialmente compensado por un alto plano alimenticio desde el día 90 de gestación hasta el parto. Estos autores indicaron que esta capacidad compensatoria podría verse afectada, si las condiciones de subalimentación van más allá del día 90 de gestación. En el presente trabajo, las condiciones de realimentación tuvieron lugar luego del día 106 de gestación, pero pareciera que hubo aún un efecto compensatorio en el crecimiento del feto, habida cuenta que no se registra-

ron diferencias en el PN de los corderos. Por otra parte, Everitt (1967) no halló diferencias en el PN entre corderos machos y hembras, pero los corderos machos fueron más pesados al destete que las hembras. Contrariamente a los resultados de Everitt (1967), en nuestro experimento los corderos machos presentaron un PN mayor que las hembras, lo cual coincide con los resultados reportados por Daniel *et al.* (2007); sin embargo, no se registraron diferencias en el PD entre ambos sexos. Villette y Theriez (1981) observaron una correlación positiva entre el PN y la GMD durante la lactancia, lo que resultó en diferentes PD. En nuestro trabajo, no se encontraron diferencias en el PN y la GMD durante la lactancia en los corderos nacidos de ovejas R y NR. Por su parte, Kenyon *et al.* (2004) señalaron que el crecimiento del cordero hasta el destete está influenciado por el PN del cordero y la producción de leche de su madre.

En el presente experimento, la producción de leche y de sólidos totales por oveja durante la lactancia, no se vio afectada por los tratamientos nutricionales durante gestación media, probablemente porque las ovejas tuvieron suficiente tiempo para recuperarse luego de la restricción cuando se estaba produciendo la lactogénesis (Hartmann *et al.*, 1973). Por otra parte, no observamos diferencias en la eficiencia de conversión de leche entre corderos nacidos de ovejas R y NR, lo que sugiere que no hubo crecimiento compensatorio en ese momento. Greenwood *et al.* (1998) sostienen que los corderos son más eficientes al convertir el alimento en ganancia de peso si el acceso al alimento no es limitante. En el presente estudio, los corderos de ambos tratamientos alcanzaron durante la lactancia una EC de aproximadamente 5 a 1, por lo que podemos inferir que la ingesta de leche no limitó el desempeño de los corderos (Theriez, 1986). Al final de la lactancia, similares PV, GMD y EC no generaron diferencias en el PD entre corderos nacidos de ovejas R o NR. En cuanto a la carga fetal, las ovejas con corderos únicos o mellizos no difirieron en la producción de leche y de sólidos totales, lo cual concuerda

con los resultados de investigaciones previas realizadas por Burris y Baugus (1955). Sin embargo, es interesante destacar que, en nuestro experimento, los corderos mellizos fueron más eficientes al convertir la leche en GMD, y esto podría explicarse por un menor PV de los corderos únicos implicando menores requerimientos energéticos para mantenimiento (Greenwood *et al.*, 1998).

Luego del destete, la GMD de los corderos nacidos de ovejas R y NR fueron similares y lograron el mismo PVS. Los efectos de la restricción nutricional materna durante la gestación en la GMD post-destete han sido inconsistentes. Daniel *et al.* (2007) y Piaggio *et al.*, (2018) obtuvieron un mayor PVS en corderos nacidos de ovejas no restringidas en comparación con aquellas que si lo fueron. Por el contrario, Ford *et al.*, (2007) observaron un mayor PVS en corderos de ovejas que fueron alimentadas al 50% de sus requerimientos nutricionales entre los días 28 y 78 de gestación, en comparación con el grupo control. Los resultados del presente estudio no mostraron diferencias significativas en el consumo de alimento post-destete ni en la EC, lo cual es consistente con lo reportado por Daniel *et al.*, (2007) y Piaggio *et al.* (2018).

Se ha indicado que los efectos prenatales sobre el desarrollo de las fibras musculares se dan a través de la regulación de la proliferación y/o diferenciación de las células musculares y, por lo tanto, los factores que aumentan la proliferación de mioblastos y/o inhiben o retrasan la diferenciación darían como resultado una mayor formación de fibras musculares (Brameld *et al.*, 2010). Las características de las fibras musculares en los corderos no se estudiaron en el presente trabajo, pero los efectos de la subnutrición de las ovejas durante la gestación en las características de la canal y calidad de la carne de los corderos fueron mínimos. En este sentido, planteamos la hipótesis de que cualquier posible efecto negativo debido a la restricción nutricional materna en el desarrollo de las fibras musculares pudo haber sido compensado. El FR (su peso y

proporción como porcentaje del PCC) fue el único corte valioso afectado por los tratamientos nutricionales de las ovejas durante la gestación, concordando con lo observado en previamente por Piaggio *et al.* (2018). Esto podría estar explicado probablemente por un mayor número (hiperplasia) de fibras musculares secundarias que podrían originarse en el músculo *Longissimus* de los corderos nacidos de las ovejas NR (Fahey *et al.*, 2005). El posterior proceso de hipertrofia a partir de un mayor número de fibras musculares podría conducir a un mayor peso del FR. Investigaciones previas han demostrado que las ovejas con restricciones nutricionales durante la gestación temprana y media, pueden generar efectos a corto plazo en el desarrollo muscular del feto; pero luego del nacimiento y con una adecuada nutrición los corderos tienen la capacidad de compensar esto, habiendo efectos negativos mínimos o ninguno en las características de la canal (Daniel *et al.*, 2007; Krausgrill *et al.*, 1999; Norby *et al.*, 1987).

En este trabajo, no se detectaron diferencias en el grado de cobertura de grasa de las canales (estimada como la profundidad del tejido subcutáneo en el punto GR), debido probablemente a que la restricción nutricional fue aplicada sobre ovejas múltiparas. Kenyon y Blair (2014) informaron que los corderos nacidos de ovejas primíparas pueden ser propensos a mostrar un mayor nivel de adiposidad que los nacidos de ovejas adultas. Sin embargo, aún no se ha determinado si este aumento en la adiposidad es lo suficientemente importante como para afectar el valor de la canal o la EC.

La evaluación sensorial de la calidad por parte del consumidor es el principal determinante de la calidad de la carne, siendo la terneza, jugosidad y sabor, las características más importantes (Maltin *et al.*, 2003). La terneza es la característica de palatabilidad más importante de la carne que afecta su aceptabilidad por parte del consumidor (Dikeman, 1987; Miller *et al.*, 1995). La terneza de la carne es afectada principalmente por la cantidad y la solubilidad del tejido

conectivo, la composición y estado de contracción de las fibras musculares, y el nivel de proteólisis *post mortem* (Joo *et al.*, 2013). En el presente experimento, no se observó un efecto del plano nutricional materno en la gestación media sobre la fuerza de corte (estimador de la terniza) de la carne de cordero, lo que concuerda con lo reportado por Tygesen *et al.* (2007) y Piaggio *et al.* (2018) El color de la carne es una característica particularmente relevante que influye en la decisión de compra de los consumidores (Faustman y Cassens, 1990). El color de la carne de corderos nacidos de ovejas R fue más luminoso (mayor valor del parámetro L\*) que la carne de corderos cuyas madres fueron NR. No obstante, es importante tener en cuenta que los consumidores difícilmente puedan detectar visualmente una unidad de diferencia en el parámetro L\* (Ripoll *et al.*, 2012). Además, los valores del parámetro L\* en ambos tratamientos nutricionales excedieron el umbral de 34, valor a partir del cual los consumidores, en promedio, considerarían aceptable el color de la carne (Khliji *et al.*, 2010). Por otro lado, no se han observado diferencias significativas en el color de la carne de cordero como consecuencia de una nutrición materna diferencial durante el día 30 y 80 de gestación (Sen *et al.*, 2016).

## CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo muestran que, si bien las ovejas estuvieron restringidas al 60% de sus requerimientos de EM durante 58 días de gestación (del día 48 al 106), habrían compensado posteriormente cualquier efecto negativo sobre el desempeño del cordero. Dicha compensación sería posible siempre y cuando existan condiciones adecuadas de realimentación en la gestación tardía y durante toda la lactancia. La única característica de la canal de los corderos afectada por la restricción nutricional de las madres fue el peso del FR, y en términos de calidad de la carne, el parámetro L\* (luminosidad) del color de la carne.

## BIBLIOGRAFÍA

**American Meat Science Association (AMSA).** 2016. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat, version 1.02, 2<sup>nd</sup> edition. AMSA, Champaign, IL, USA.

**Bermúdez, R.; Ayala, W.** 2005. Producción de forraje de un campo natural de la zona de lomadas del Este, in: Gómez Miller, R., Albicette, M.M. (Eds.), Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural. Serie Técnica N° 151. National Institute for Agricultural Research, Montevideo, Uruguay, pp. 33-39.

**Brameld, J.M.; Greenwood, P.L.; Bell, A.W.** 2010. Biological mechanisms of fetal development relating to postnatal growth, efficiency and carcass characteristics in *Ruminants*, in: Greenwood, P.L., Bell, A.W., Vercoe, P.E., Viljoen, G.J. (Eds.), *Managing the Prenatal Environment to Enhance Livestock Productivity*. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 93-119.

**Burris, M.J.; Baugus, C.A.** 1955. Milk consumption and growth of suckling lambs. *Journal of Animal Science*, 14(1): 186-191. <https://doi.org/10.2527/jas1955.141186x>

**Daniel, Z.C.T.R.; Brameld, J.M.; Craigon, J.; Scollan, N.D.; Buttery, P.J.** 2007. Effect of maternal dietary restriction on lamb carcass characteristics and muscle fiber composition. *Journal of Animal Science*, 85(6): 1565-1576. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-743>

**Dikeman, M.E.** 1987. Fat reduction in animals and the effects on palatability and consumer acceptance of meat products, in: Proceedings of the 40<sup>th</sup> Annual Reciprocal Meat Conference, 28 June - 1 July 1987, Chicago, IL, pp. 93-103.



- Doney, J.M.; Peart, J.N.; Smith, W.F.; Loda, F.** 1979. A consideration of the technique for estimation of milk yield by suckled sheep and a comparison of estimates obtained by two methods in relation to the effect of breed, level of production and stage of lactation. *The Journal of Agricultural Science*, 92:123-132.  
<https://doi.org/10.1017/S0021859600060573>
- Du, M.; Ford, S.P.; Zhu, M.J.** 2017. Optimizing livestock production efficiency through maternal nutritional management and fetal developmental programming. *Animal Frontiers*, 7: 5-11.  
<https://doi.org/10.2527/af.2017-0122>
- Everitt, G.C.** 1967. Residual effects of prenatal nutrition on the postnatal performance of Merino sheep. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 27, 52-68.
- Faustman, C.; Cassens, R.G.** 1990. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: a review. *Journal of Muscle Foods*, 1: 217-243.  
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.1990.tb00366.x>
- Fahey, A.J.; Brameld, J.M.; Parr, T.; Buttery, P.J.** 2005. The effect of maternal undernutrition before muscle differentiation on the muscle fiber development of the newborn lamb. *Journal of Animal Science*, 83: 2564-2571.  
<https://doi.org/10.2527/2005.83112564x>
- Ford, S.P.; Hess, B.W.; Schwoppe, M.M.; Nijland, M.J.; Gilbert, J.S.; Vonnahme, K.A.; Means, W.J.; Han, H.; Nathanielz, 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: 1285-1294.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2005-624>
- Fowden, A.L.; Ward, J.W.; Wooding, F.P.R.; Forhead, A.J.; Constancia, M.** 2006. Programming placental nutrient transport capacity. *The Journal of physiology*, 572(1): 5-15.  
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.104141>
- Greenwood, P.L.; Hunt, A.S.; Hermanson, J.W.; Bell, A.W.** 1998. Effects of birth weight and postnatal nutrition on neonatal sheep: I. Body growth and composition, and some aspects of energetic efficiency. *Journal of Animal Science*, 76: 2354-2367.  
<https://doi.org/10.2527/1998.7692354x>
- Hartmann, P.E.; Trevethan, P.; Shelton, J.N.** 1973. Progesterone and oestrogen and the initiation of lactation in ewes. *Journal of Endocrinology*, 59: 249-259.  
<https://doi.org/10.1677/joe.0.0590249>
- Joo, S.T.; Kim, G.D.; Hwang, Y.H.; Ryu, Y.C.** 2013. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Science*, 95: 828-836.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.044>
- Kenyon, P.R.; Morel, P.C.; Morris, S.T.** 2004. Effect of ewe live weight and condition score at mating, and mid-pregnancy shearing, on birth weights and growth rates of twin lambs to weaning. *New Zealand Veterinary Journal*, 52: 145-149.  
<https://doi.org/10.1080/00480169.2004.36419>
- Kenyon, P.R.; Blair, H.T.** 2014. Foetal programming in sheep – Effects on production. *Small Ruminant Research*, 118: 16-30.  
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.12.021>
- Khlijji, S.; van de Ven, R.; Lamb, T.A.; Lanza, M.; Hopkins, D.L.** 2010. Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Science*, 85: 224-229.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.01.002>
- Krausgrill, D.I.; Tulloh, N.M.; Shortose, W.R.; Sharpe, K.** 1999. Effects of weight loss in ewes in early pregnancy on muscles and meat quality of lambs. *The Journal of Agricultural Science*, 132: 103-116.  
<https://doi.org/10.1017/S0021859698006133>
- Maltin, C.; Balcerzak, D.; Tilley, R.; Delday, M.** 2003. Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62: 337-347. <https://doi.org/10.1079/PNS2003248>

**Miller, M.F.; Huffman, K.L.; Gilbert, S.Y.; Hamman, L.L.; Ramsey, C.B.** 1995. Retail consumer acceptance of beef tenderized with calcium chloride. *Journal of Animal Science*, 73(8): 2308-2314.  
<https://doi.org/10.2527/1995.7382308x>

**Nordby, D.J.; Field, R.A.; Riley, M.L.; Kercher, C.J.** 1987. Effects of maternal undernutrition during early-pregnancy on growth, muscle cellularity, fiber type and carcass composition in lambs. *Journal of Animal Science*, 64(5): 1419-1427.  
<https://doi.org/10.2527/jas1987.6451419x>

**Piaggio, L.; Quintans, G.; San Julián, R.; Ferreira, G.; Ithurralde, J.; Fierro, S.; Pereira, A.S.C.; Baldi, F.; Banchemo, G.E.** 2018. Growth, meat and efficiency traits of lambs born to ewes submitted to energy restriction during mid-gestation. *Animal*, 12, 256-264.  
<https://doi.org/10.1017/S1751731117001550>

**Ripoll, G.; Panea, B.; Alberti, P.** 2012. Visual appraisal of beef and its relationship with the CIELab colour space. *Información Técnica Económica Agraria*, 108, 222-232.

**Roca Fraga, F.J.; Lagisz, M.; Nakagawa, S.; Lopez-Villalobos, N.; Blair, H.T.; Kenyon, P.R.** 2018. Meta-analysis of Lamb birth weight as influenced by pregnancy nutrition of multiparous ewes. *Journal of Animal Science*, 96(5): 1962-1977.  
<https://doi.org/10.1093/jas/sky072>

**Sen, U.; Sirin, E.; Ensoy, U.; Aksoy, Y.; Ulu-tas, Z.; Kuran, M.** 2016. The effect of maternal nutrition level during mid-gestation on postnatal muscle fibre composition and meat quality lambs. *Animal Production Science*, 56(5): 834-843.  
<https://doi.org/10.1071/AN14663>

**Taplin, D.E.; Everitt, G.C.** 1964. The influence of prenatal nutrition on postnatal performance of Merino lambs. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production*, 5: 72-81.

**Theriez, M.** 1986. The young lamb, in: Church, D.C. (Ed.), *Livestock feeds and feeding*. 2<sup>nd</sup> edition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, pp. 339-353.

**Tygesen, M.P.; Harrison, A.P.; Therkildsen, M.** 2007. The effect of maternal nutrient restriction during late gestation on muscle, bone and meat parameters in five month old lambs. *Livestock Science*, 111: 230-241.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.11.003>

**Villette, Y.; Theriez, M.** 1981. Influence of birth weight on lamb performances. I. Level of feed intake and growth. *Annales de Zootechnie*, 30: 151-168.

**Wu, G.; Bazer, F.W.; Wallace, J.M.; Spencer, T.E.** 2006. Board-invited review: Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. *Journal of Animal Science*, 84(9): 2316-2337.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2006-156>

## AGRADECIMIENTOS

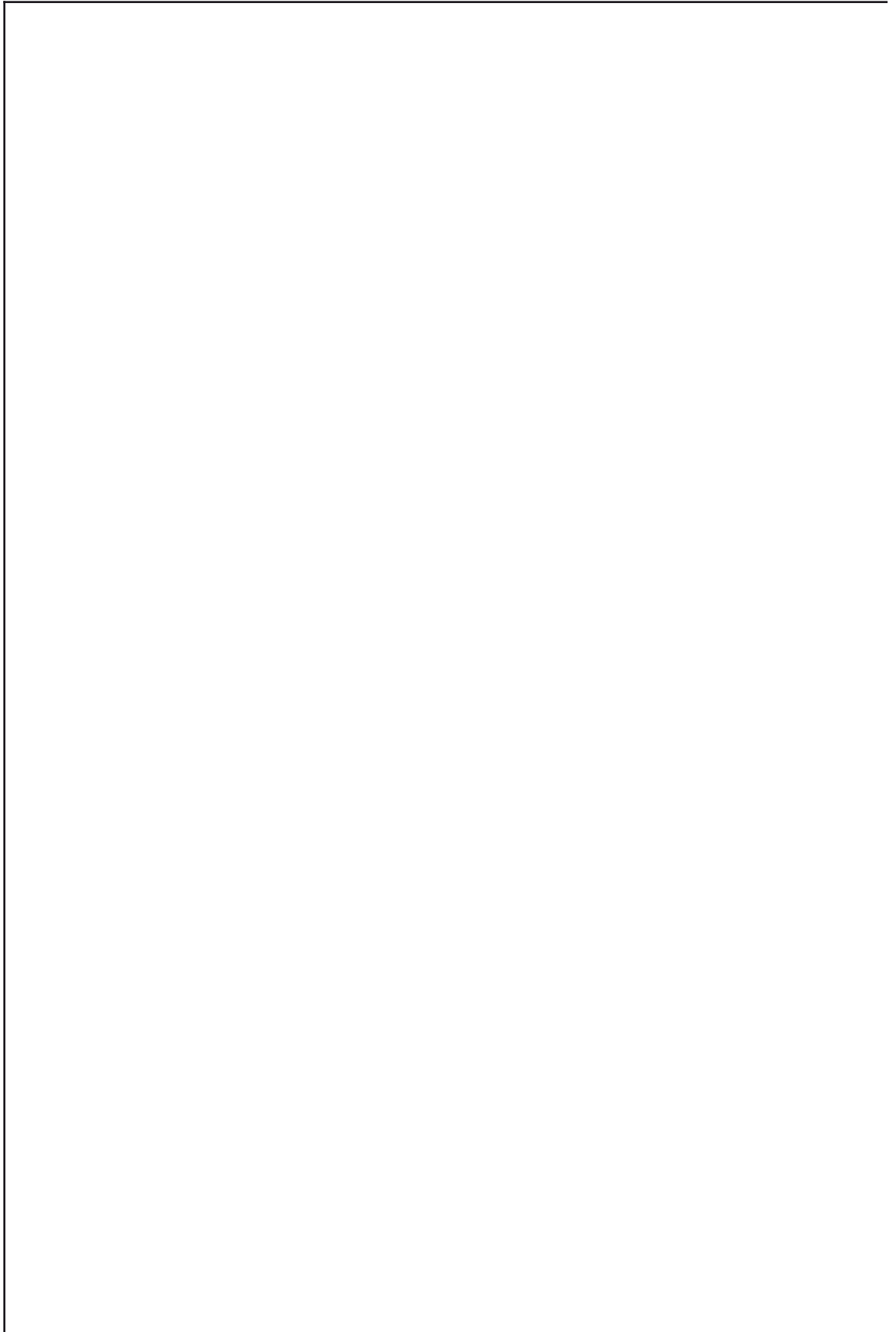
Las editoras de la Serie Técnica queremos agradecer a los autores de los diferentes trabajos que integran la Serie Técnica por su invaluable colaboración.

Ademas queremos agradecer a: Olga Alvarez, Belky Mesones, Laura Orrego, Horacio

Saravia por sus aportes y/o sugerencias durante la elaboración de este trabajo.

También nuestro reconocimiento a José Ignacio Velazco y Georgett Banhero por el apoyo en la edición de este trabajo.

Foto de portada gentileza de Luis Carrau.





Impreso en Noviembre de 2019  
en PRONTOGRÁFICA  
Cerro Largo 850 - Tel.: 2902 3172  
Montevideo Uruguay  
E-mail: [pgrafica@adinet.com.uy](mailto:pgrafica@adinet.com.uy)  
Dep. Legal: 376.178



**INIA Dirección Nacional**

Andes 1365, P. 12

Montevideo

Tel. 598 2902 0550

Fax 598 2902 3633

iniadn@dn.inia.org.uy

**INIA La Estanzuela**

Ruta 50, Km 11

Colonia

Tel. 598 4574 8000

Fax 598 4522 4061

iniale@le.inia.org.uy

**INIA Las Brujas**

Ruta 48, Km 10

Canelones

Tel. 598 2367 7641

Fax 598 2367 7609

inia\_lb@lb.inia.org.uy

**INIA Salto Grande**

Camino al Terrible

Salto

Tel. 598 4733 5156

Fax 598 4732 9624

inia\_sg@sg.inia.org.uy

**INIA Tacuarembó**

Ruta 5, Km 386

Tacuarembó

Tel. 598 4632 2407

Fax 598 4632 3969

iniatbo@tb.inia.org.uy

**INIA Treinta y Tres**

Ruta 8, Km 281

Treinta y Tres

Tel. 598 4452 2305

Fax 598 4452 5701

iniatt@tyt.inia.org.uy

[www.inia.uy](http://www.inia.uy)