



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Nutrición energética en el último tercio de gestación en vacas de cría para carne y su efecto en el desempeño productivo y reproductivo de su progenie

Carlos Javier Batista Bentancor

Doctorado en Ciencias Agrarias

Mayo 2023

**Nutrición energética en el último tercio
de gestación en vacas de cría para carne
y su efecto en el desempeño productivo
y reproductivo de su progenie**

Carlos Javier Batista Bentancor

Doctorado en Ciencias Agrarias

Mayo 2023

Tesis aprobada por el tribunal integrado por la PhD. Carlos López Mazz, la PhD. Albina Sanz y el PhD. Sebastián López Valiente el (día) de mayo de 2023. Autor: DMTV. Carlos Batista. Directora: PhD. Ing. Agr. Graciela Quintans. Codirector: PhD. Ing. Agr. José Ignacio Velazco.

«Acunarse en la silla del acostumbramiento es firmar con la vida un pacto violento»

JULIETA CAPUTO (2021)

«Donde hay una voluntad, hay un camino»

ALBERT EINSTEIN (1922)

Este trabajo está dedicado a mi esposa, Paola, a mis hijos, Sebastián y Federico, y a mis padres, Carlos y Lucía, que me brindaron siempre y en todo momento su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, mis padres, Carlos y Lucía, por estimularme desde siempre a alcanzar y mejorar mi formación. Agradezco a mis suegros, Rita y Oscar por su apoyo. Agradezco especialmente a los generadores de luz y motores de mi vida, mi esposa, Paola, y nuestros hijos, Sebastián y Federico, que, a pesar de mis ausencias para la realización de este doctorado, me apoyaron y apoyan de forma ilimitada permanentemente y me han regalado y regalan su amor día a día.

A INIA, por confiar en mí, brindar el trabajo y permitirme el espacio para desarrollar el estudio y realización de esta tesis.

A mi tutora, Graciela, por compartir su experiencia y conocimiento. Agradecido porque sé que no fue fácil remodelar la arcilla ya horneada, pero creo que lo conseguiste conmigo. Admiro tu visión clara para dar una solución simple a los temas. Por lo anterior, ha sido un honor tenerte de tutora y poder aprender de una científica de tu importancia.

A mi cotutor, José Ignacio, por brindarme su conocimiento y experiencia. Intermediario incansable entre estudiante-tutor-tesis, orientando en la elaboración de mi doctorado como en alguna oportunidad citó «tal cual el sistema de engranajes de un reloj, preciso y exacto».

Al personal de INIA, que aportaron de una u otra forma al trabajo, ya sea en la infraestructura, alimentación o en el manejo de los animales, pero más que nada aportaron en lo humano. Su gracia y simpatía generaron un ambiente alegre y armónico, lo que hizo más llevadera la distancia con la familia. Más que de compañeros me hice de amigos. Mi enorme agradecimiento a Juan Luis Acosta, Martín Cuello, Miguel Piccioli, Ruben Jara, Jimena Carrasco, Pablo Lorenzo, Gustavo Pereira, Gerardo Ituarte, Carlos Pirez.

Al Departamento de Producción Animal y Pasturas, al área de Fisiología y Reproducción Animal. A Juan Bolívar, por apoyarme y facilitar el contacto con quien después sería mi tutora. A Andrea Álvarez, por sus aportes invaluableles ante la consulta y filosofar en la temática compartida. A Carlos López, por el apoyo y sus aportes en las discusiones filosóficas de programación fetal. A Raquel Pérez, por su estímulo, apoyo y facilitar el contacto con profesionales del exterior para la realización de mi pasantía. A Laura Astigarraga, por su estímulo y aportes realizados ante las consultas y por el continuo apoyo como encargada del departamento, referente académico y como compañera. A Elize Van Lier, por su apoyo como responsable y como compañera del área de la que dependo laboralmente, pero más que nada como una amiga que siempre confió y estimuló permanentemente mi avance y desempeño, apoyándome y aportando en mi camino para alcanzar esta tesis.

A todos los compañeros que en conversaciones de oficina, pasillo o salones de clase de una u otra forma dan otra perspectiva a los temas que nos involucran y eso nos permite una mirada distinta.

A la Facultad de Agronomía, al CENUR Litoral Norte y a la EEFA, por su apoyo institucional.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY	IX
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. HIPÓTESIS	8
1.2. OBJETIVO GENERAL	8
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS	9
1.4.1. <u>Ubicación y diseño del trabajo</u>	9
1.4.2. <u>Alimentación</u>	9
1.4.3. <u>Video adjunto</u>	10
1.4.4. <u>Análisis estadístico</u>	13
2. <u>EFECTO DE DOS NIVELES DE ENERGÍA EN LA DIETA DURANTE EL ÚLTIMO TERCIO DE GESTACIÓN DE VACAS PARA CARNE SOBRE CARACTERÍSTICAS DE LA PLACENTA Y LA DESCENDENCIA AL NACIMIENTO</u>	15
2.1. ABSTRACT	16
2.2. RESUMEN	17
2.3. INTRODUCCIÓN	18
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.4.1. <u>Ubicación y diseño experimental</u>	20
2.4.2. <u>Alimentación</u>	20
2.4.3. <u>Mediciones en los animales</u>	21
2.4.4. <u>Análisis estadístico</u>	23
2.5. RESULTADOS	23
2.6. DISCUSIÓN	26

2.7. CONCLUSIÓN	31
2.8. LITERATURA CITADA	31
3. <u>EFFECTO DEL NIVEL DE ENERGÍA DE LA DIETA EN EL ÚLTIMO TERCIO DE GESTACIÓN SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO DE VACAS PARA CARNE Y SU DESCENDENCIA</u> 37	
3.1. ABSTRACT	38
3.2. RESUMO	39
3.3. RESUMEN	40
3.4. INTRODUCCIÓN	41
3.5. MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.5.1. <u>Ubicación y diseño experimental</u>	43
3.5.2. <u>Alimentación</u>	44
3.5.3. <u>Peso vivo y condición corporal</u>	46
3.5.4. <u>Producción de leche</u>	46
3.5.5. <u>Ultrasonografía</u>	47
3.5.6. <u>Muestras de sangre (AGNE, IGF-1, insulina, progesterona)</u>	47
3.5.7. <u>Análisis estadístico</u>	49
3.6. RESULTADOS	49
3.6.1. <u>Desempeño productivo, reproductivo y concentración de AGNE de las madres</u>	49
3.6.2. <u>Desempeño productivo, perfiles hormonales y reproducción de las hijas (F1)</u>	52
3.6.3. <u>Crecimiento (nacimiento-destete) de los terneros nietos (F2)</u>	55
3.7. DISCUSIÓN	55
3.8. CONCLUSIÓN	64
3.9. LITERATURA CITADA	65
4. <u>DISCUSIÓN</u>	74
5. <u>CONCLUSIONES</u>	84
6. <u>LITERATURA CITADA</u>	85

RESUMEN

El presente trabajo de tesis evaluó el impacto de la nutrición con niveles energéticos restrictivos y no restrictivos en vacas de cría para carne en el último tercio de gestación sobre el desempeño productivo y reproductivo de la progenie. Además, también se evaluó el efecto del consumo de dietas bajas en energía en vacas preñadas en el último tercio de gestación sobre sus propias variables productivas y reproductivas. 31 vacas británicas multíparas, inseminadas a tiempo fijo y gestando hembras, fueron asignadas el día -90 (día 0 = parto) a dos niveles de consumo de energía relativo a los requerimientos de mantenimiento hasta el parto: i- 125 % (ALTO; n = 15) y ii- 75 % (BAJO; n = 16). Al parto, las vacas restringidas en energía presentaron mayor concentración de AGNE ($P < 0,01$) y menor concentración de insulina ($P < 0,03$) respecto a las vacas no restringidas. Durante la lactancia, las vacas restringidas tenían menor condición corporal ($P < 0,05$) y menor concentración de AGNE ($P = 0,05$) respecto de las vacas no restringidas. La producción de leche no fue afectada significativamente ($P > 0,05$) por la restricción de energía. Respecto de las características evaluadas en las placentas, se vieron afectadas por los tratamientos. El peso vivo (PV), la morfometría y el comportamiento de las terneras al nacimiento no fueron afectadas significativamente por los tratamientos. En cambio, la restricción de energía de las vacas afectó el PV al destete ($P < 0,05$) y la ganancia diaria de peso vivo (GD) al destete ($P < 0,05$) de las (F1). Desde el destete a la pubertad, GD y PV de las (F1) no fue afectado por los tratamientos. De manera análoga, las variables de los (F2) no fueron afectadas por los tratamientos. En el presente trabajo, las vacas subnutridas movilizaron reserva corporal, mantuvieron la producción de leche. Las vacas con restricción de energía movilizaron reservas corporal pre- y posparto suficiente para cubrir la demanda fetal y de producción de leche. Posiblemente, vacas de cría pastoreando campo nativo desarrollen mecanismos resilientes similares, al menos para las condiciones del presente trabajo. Puntualmente, no hubo efecto evidente en los parámetros de crecimiento ni desarrollo de las terneras.

Palabras clave: programación fetal; morfometría; etología; producción-reproducción

**EFFECT OF ENERGY NUTRITION IN THE LAST THIRD OF GESTATION
IN BEEF COWS ON THE PRODUCTIVE AND REPRODUCTIVE
PERFORMANCE OF THEIR PROGENY**

SUMMARY

The present thesis evaluated the impact of restrictive and non-restrictive energy nutrition in beef cows in the last third of gestation on the productive and reproductive performance of the progeny. In addition, the effect of consumption of low-energy diets in pregnant cows in the last third of gestation on their own productive and reproductive variables was considered. Thirty-one multiparous, fixed-time inseminated, gestating British cows were assigned on day -90 (day 0 = calving) to two levels of energy intake relative to maintenance requirements until calving: i- 125 % (ALTO; n = 15) and ii- 75 % (BAJO; n = 16). At calving, energy-restricted cows had higher concentration of non-esterified fatty acids (AGNE) ($P < 0.01$) and lower insulin concentration ($P < 0.03$) relative to unrestricted cows. During lactation, restricted cows had lower body condition ($P < 0.05$) and lower AGNE concentration ($P = 0.05$) with respect to non-restricted cows. Milk production was not significantly affected ($P > 0.05$) by energy restriction. Regarding the characteristics evaluated in placentas, they were not affected by the treatments. Live weight (BW), morphometry and calf behaviour at birth were not significantly affected by the treatments. In contrast, energy restriction of cows affected PV at weaning ($P < 0.05$) and daily liveweight gain (GD) at weaning ($P < 0.05$) of (F1). From weaning to puberty, the GD and PV of the (F1) was not affected by the treatments. Similarly, the variables of (F2) were not affected by the treatments. In the present study, the undernourished cows mobilized body reserves and maintained milk production. Energy-restricted cows mobilized pre- and postpartum body reserves sufficient to supply fetal and milk production demands. Possibly, breeding cows grazing native range may develop similar resilient mechanisms, at least for the conditions of the present work. Specifically, there was no evident effect on calf growth and development parameters.

Key words: fetal programming; morphometry; ethology; production-reproduction

1. INTRODUCCIÓN

La cría vacuna en Uruguay presenta 4,354 millones de vacas de cría (entoradas), mantenidas principalmente en pasturas naturales en una superficie que representa el 56 % del total de campo dedicado a la ganadería (DIEA, 2020). Los sistemas de cría vacuna se pueden considerar de baja eficiencia en la utilización de energía; la vaca destina dos tercios de la energía consumida al mantenimiento del metabolismo basal (Dickerson, 1978). Además, la cría se desarrolla principalmente sobre campo natural, el cual se caracteriza por tener cantidad y calidad de pastura variables de acuerdo a las condiciones climáticas intra- e interanuales, siendo la estación invernal de cantidad y calidad pobres (Berretta et al., 2000). Condiciones fisiológicas determinantes para la producción, como el último tercio de la gestación, coinciden con las estaciones mencionadas, cuando la calidad de las pasturas invernales limita la cantidad de energía que el animal consume. El consumo limitado de nutrientes impacta en los resultados productivos y reproductivos de la cría vacuna, lo que se refleja en aumentos del período de anestro posparto y conlleva tasas de procreo en el ámbito nacional de 65 % (DIEA, 2016) y preñez de 70,3 % en el promedio nacional para los últimos 20 años (INIA, 2022).

En nuestro sistema de producción, los servicios reproductivos son realizados mayoritariamente en verano, por lo cual las pariciones ocurren durante la primavera. Durante el invierno, las vacas de cría cursan el último tercio de gestación y el desarrollo de los tejidos placentarios y fetales alcanzan su incremento máximo en el útero, pero, a partir de estos tejidos, crecen también las demandas energéticas (Bell, 1995). El ambiente uterino depende de la nutrición materna y esta última debe proveer la energía suficiente para el desarrollo del nuevo individuo (Funston et al., 2012) y los tejidos placentarios. Trabajos previos estudiaron cómo el ambiente alimenticio condiciona el desarrollo del feto y han establecido que estímulos nutricionales recibidos en la etapa intrauterina pueden influenciar la fisiología de la cría, su desarrollo y su salud posnatal (Funston et al., 2012, Martin et al., 2007, Barker, 1990, Waldham et al., 1979). Según Martin et al. (2007) y Stalker et al. (2006), la

suplementación proteica de madres durante la última etapa de gestación incrementó el peso vivo de la cría al destete y afectó positivamente la tasa de preñez de la progenie. Mientras que Corah et al. (1975) observaron bajos pesos vivos al nacimiento, mortandad neonatal y retraso de la pubertad de terneras hijas de vacas que fueron alimentadas con altos y bajos niveles de energía al final de la gestación.

Existe vasta investigación en Uruguay sobre los efectos de la nutrición en las vacas de cría (en diferentes etapas de su ciclo biológico) en variables productivas y reproductivas. Así, se observó que el manejo alimenticio que evita pérdidas de peso vivo durante el primer invierno posdestete de las terneras (entre, aproximadamente, 8 y 12 meses de edad) afecta positivamente la entrada a la pubertad y el posterior desempeño productivo y reproductivo (Scarsi y Quintans, 2013). Por otro lado, en vacas adultas se ha evaluado cómo las mejoras alimenticias aumentan la condición corporal y peso vivo al parto, lo que afecta positivamente parámetros productivos y reproductivos como lo son el largo del anestro posparto y la tasa de destete (López Valiente et al., 2017, Scarsi y Quintans, 2013). Además, se ha observado que una suplementación preparto de corta duración, que coincidió con el último mes de gestación, benefició el desempeño productivo y reproductivo, sin afectar el peso vivo de las crías (Scarsi, 2012, Stalker et al., 2006). Sin embargo, la información sobre el impacto que ejerce la alimentación en el último tercio de gestación sobre el desempeño de la progenie en nuestros sistemas pastoriles es escasa. Consecuentemente, este trabajo intenta aportar información acerca del efecto de la nutrición energética durante la gestación sobre el desempeño productivo de las madres y, principalmente, de la progenie de hembras.

La energía de un alimento puede considerarse como el combustible que el animal utiliza para lograr los productos derivados de ese alimento (Pigurina y Methol, 2004). Tomando al ternero como producto, se asume que las necesidades nutricionales de la preñez son proporcionales al peso vivo del ternero al parto. Por lo tanto, los factores que afectan el peso vivo de la cría al nacimiento tienen un efecto proporcional en las necesidades nutricionales de la gestación (NRC, 2000). Muchos factores afectan el peso vivo al nacimiento de la cría, como la raza del padre y la madre o el número de

fetos, pero la nutrición de la madre es el factor más destacado (Ferrell, 1991). La subnutrición de energía a finales de la gestación se asoció con reducción del peso vivo al nacimiento de la cría, distocias, reducción de la producción de leche y del crecimiento de las crías, así como menor rendimiento reproductivo de las vacas (NRC 2000). Por el contrario, la nutrición energética por encima de los requerimientos durante la preñez también puede resultar en una reducción del peso vivo al nacimiento, disminución de la producción de leche, distocias, muerte neonatal y pobre rendimiento reproductivo (Kroker y Cummins, 1979). Cumplir con los requerimientos nutricionales adecuados para la vaca gestante es importante para asegurar el correcto crecimiento y desarrollo del feto y consolidar que la hembra se encuentre en condición corporal adecuada para parir, lactar y reproducirse a los \pm 80 días posparto (NRC, 2000).

Por otra parte, se ha reportado que una alimentación nutricionalmente deficiente afecta el peso vivo y la condición corporal de la madre gestante y la duración de dicha gestación (Scarsi y Quintans, 2013, Quintans et al., 2008, Martin et al., 2007, Waldhalm et al., 1979). Pero también fue informado que la nutrición afecta el comportamiento de la cría al nacimiento con aumentos en los tiempos desde el parto hasta el amamantamiento, lo que se refleja en la disminución del vigor y una elevada mortalidad posparto, así como una disminución en el desempeño predestete de la cría (Bohnert et al., 2013, Martínez et al., 2009, Ribeiro et al., 2007, Riley et al., 2004). Hay escasos trabajos que hayan enfocado los efectos de la nutrición gestacional sobre el comportamiento de la cría, considerando la categoría o edad de la vaca. En vacas lecheras maduras con alimentación preparto sin restricción, sus terneras y terneros demoraron más en pararse, intentar mamar y mamar en comparación a los hijos/as de vaquillonas (Houwing et al., 1990). Sin embargo, Kroker y Cummins (1979) observaron en vaquillonas Hereford que la baja nutrición energética preparto aumentó los tiempos utilizados por el ternero desde el nacimiento hasta el amamantamiento, lo que condicionó la salud y sobrevivencia de sus crías en el posparto. Estos resultados, si bien contradictorios, ponen de manifiesto que la categoría de la vaca juega un rol importante sobre las respuestas de las crías en el parto y posparto inmediato. Por otro

lado, Houwing et al. (1990) proponen que la experiencia reproductiva materna previa, así como también el sexo de las crías, pueden afectar el comportamiento precoz posparto, ya que observaron aumentos o disminuciones en los tiempos utilizados por la cría. Estos mismos autores advirtieron que la actividad posparto de las terneras es más rápida respecto a la de los machos.

Otro aspecto a tener presente de la nutrición materna es el efecto de la energía sobre la placenta. La placenta es un órgano deciduo, de temprana aparición y desarrollo en la gestación, que relaciona la madre y el feto a través del intercambio de gases y nutrientes y la eliminación de residuos. Si bien la aparición de esta estructura es temprana en la gestación (días 25 a 30) (Assis et al., 2010), su crecimiento y desarrollo precede al crecimiento del feto y alcanza su máximo en el último tercio de gestación, acompañando el crecimiento del feto. Se ha reportado que en condiciones normales de infusión de nutrientes alimenticios en la vaca gestante el peso de la placenta tiene estrecha relación con el peso fetal (Reynolds et al., 1990). Zhu et al. (2007) reportaron que subnutriciones proteicas desde los 30 a 125 días de gestación provocaron bajo peso de placentas y de las crías al nacimiento; luego de realimentar con el 100 % de los requerimientos nutricionales, los pesos placentarios fueron bajos, pero el peso de las crías al nacimiento no se redujo. La desnutrición materna hasta la mitad de la gestación puede ocasionar alteraciones permanentes en el crecimiento y desarrollo fetal y neonatal, por alteración del tamaño placentario y la capacidad de transferencia de nutrientes para mantener el crecimiento fetal (Bohnert et al., 2013, Lanham et al., 2011). Se ha indicado que la placenta fue menos eficiente en el último tercio de la gestación, pero el desarrollo placentario no fue diferente cuando vacas maduras gestaban fetos hembra respecto de gestaciones de machos (Redifer et al., 2021). El reporte último mencionado no evaluó el efecto de la nutrición sobre la eficiencia o la ternera. Los efectos de la nutrición materna sobre el feto son importantes, más aún al considerar que el feto bovino es susceptible de sufrir alteraciones en su desarrollo desde la mitad hasta el final de la gestación (Vonnahme et al., 2018). Sin embargo, se reportaron resultados contradictorios respecto de restricciones nutricionales maternas del 55 al 60 % de los requerimientos al final de la gestación sobre el peso del ternero

(Hough et al., 1990, Corah et al., 1975). Queda aún por entender si las dietas por debajo de los requerimientos nutricionales energéticos de madres gestantes en el último tercio de gestación afectan las características placentarias y a la ternera.

Varias investigaciones concluyen que la nutrición adecuada del feto conlleva a incrementos del peso vivo al nacimiento y, además, tiene correlación positiva con el desarrollo posterior como la tasa de crecimiento y el peso vivo al destete (Schoonmaker, 2013, Greenwood et al., 2010), aunque las respuestas varían de acuerdo a la etapa de gestación y la categoría de la madre. Algunos autores no encontraron relación entre el peso vivo al nacimiento y la carencia alimenticia en el segundo trimestre de gestación, por lo que establecieron que el estatus nutricional de la madre no afecta el peso vivo al nacimiento, al destete y a la pubertad (Cushman et al., 2014). Sin embargo, deficiencias de energía del 30 % durante el último tercio de gestación en vaquillonas provocaron bajos pesos al nacimiento y al destete (Corah et al., 1975). En ovinos, el bajo peso al nacer se asoció con una mayor mortalidad neonatal, baja productividad y morbilidad a largo plazo (Sharma et al., 2012). Los estudios mencionados involucran especies y categorías en que los requerimientos nutricionales de la gestación se confunden con la edad de la vaca. Según Martin et al. (2007), la subnutrición proteica en el último tercio de gestación en vacas no provoca cambios en los pesos vivos de las crías. Recientes reportes indicaron diferencias de peso vivo al destete en la descendencia de vacas con restricción proteica en el primero y en el último tercio de gestación (Noya et al., 2022, Lopez-Valiente et al., 2021, Maresca et al., 2018).

Como respuesta a la subnutrición materna, puede ocurrir restricción en el crecimiento y desarrollo fetal, pero la restricción no afecta a tejidos y órganos importantes para la sobrevivencia (sistema nervioso y corazón), sino a aquellos menos importantes (sistema músculo-esquelético) (Long et al., 2009). El retraso del crecimiento intrauterino puede provocar reducción de medidas morfométricas y tener efectos a largo plazo (Sharma et al., 2012, Barker et al., 2002, Barker, 1990). Se ha reportado que ovejas que fueron subnutridas durante la gestación temprana tuvieron corderos con tasas de crecimiento menores respecto al testigo (Ford et al., 2007), pero la morfometría de estos no fue

evaluada. Según Long et al. (2009), vacas de 3 a 4 años de edad, preñadas y con subnutrición proteica desde el primer tercio de gestación, tienen en la mitad de la gestación terneros con menor peso y menor desarrollo físico, efecto que se atribuye a la susceptibilidad de la madre joven gestante a la restricción nutricional. Estos investigadores no encontraron diferencias en las medidas morfométricas en crías de vacas maduras de grupos restringidos nutricionalmente en proteína vs. no restringidos nutricionalmente durante el último tercio de gestación. Queda por entender cuál es la respuesta morfométrica del desarrollo y la ganancia de peso que tienen las crías de vacas adultas restringidas y no restringidas en energía en el último tercio de gestación.

Tanto el desarrollo como la ganancia de peso en las terneras representan el crecimiento del animal y se relaciona con la pubertad, la que marca el comienzo de la actividad reproductiva en la ternera. La determinación de pubertad en hijas de vacas y en hijas de vaquillonas subnutridas energéticamente ha dado resultados contradictorios. Según Corah et al. (1975), la subnutrición energética en vaquillonas adelanta 19 días la pubertad de la progenie. Contrariamente, Cushman et al. (2014) obtuvieron resultados similares para la aparición de pubertad entre las hijas de vacas subalimentadas, mantenidas o suplementadas con dietas elevadas energéticamente (125 % del mantenimiento). Para Martin et al. (2007), la suplementación en vaquillonas con dietas de bajo y alto contenido proteico no afecta la edad de inicio de la pubertad de las hijas. Además, se ha observado que tanto la restricción como el exceso de nutrientes suministrados a las madres gestantes impactan distintamente sobre la reserva folicular ovárica de la subsecuente generación en bovinos (Cushman et al., 2014, Ireland et al., 2011, Sullivan et al., 2009) y otras especies (Kenyon y Blair, 2014, Dupont et al., 2012, Da Silva et al., 2003). Según Sullivan et al. (2009), las vacas que fueron alimentadas con altos niveles de proteína (140 % de los requerimientos) durante el segundo tercio de gestación tuvieron hijas que a los 23 meses de edad presentaron bajo número de folículos ováricos; mientras que en vacas de leche que fueron alimentadas con bajo nivel de energía el conteo de folículos antrales de la progenie se redujo 60 % (Mossa et al., 2012). Sin embargo, la estructura que marca el inicio de la actividad ovárica es la presencia y actividad del cuerpo lúteo. Los reportes del efecto de la suplementación

proteica a principios y en la mitad de la gestación evidencian la aparición de menos masa de tejido luteal en la progenie de vacas restringidas vs. suplementadas y control (Long et al., 2012). La información de estos trabajos corresponde mayormente a experimentos en etapas tempranas de gestación, con categorías en crecimiento y/o bajo sistemas de pastoreo, y enfocándose principalmente en fuentes proteicas de suplemento. Es escasa la información de la edad a la pubertad de hembras hijas de vacas suplementadas con fuentes energéticas de suplemento.

El estado nutricional de la vaca gestante tiene efectos durante el desarrollo fetal o neonatal sobre el futuro rendimiento reproductivo de la cría, además de observarse fuerte asociación con algunos aspectos del desarrollo hacia la vida adulta (Dupont et al., 2012, Rhind, 2004, Barker, 1990). Así, el impacto de la subnutrición materna sobre el feto se ha reflejado en bajo peso, como también en menor desarrollo y crecimiento posnatal, patologías en edades jóvenes y maduras — deficiencias renales y cardiológicas (Long et al., 2009, Silveira et al., 2007) — y alteraciones metabólicas con sobrepeso y/o resistencia a la insulina (Barker, 1990). También se observó que estas características estaban asociadas a niveles alterados de hormonas vinculadas al metabolismo, como la insulina e IGF-1. La insulina actúa junto a IGF-1, ya que las concentraciones plasmáticas de estas se incrementan ante los aumentos del estado nutricional o disminuyen ante su baja (Rhind, 2004). En terneros, la concentración plasmática de IGF-1 al nacimiento fue asociada positivamente con el peso vivo al nacer, así como el promedio posnatal de dicha hormona se relacionó con la ganancia diaria de peso y crecimiento (Micke et al., 2010).

Además, se ha observado, en vacas gestantes en el último tercio con adecuada alimentación, que existe una movilización moderada de ácidos grasos no esterificados (AGNE) y cetonas en relación con aumentos en su utilización y su metabolismo, el beta-hidroxibutirato (BHB) (Bell, 1995). Las señales endócrinas y los mecanismos que operaran para influir en la actividad reproductiva y productiva de la progenie de vacas con alimentación energética en condiciones controladas en el último tercio de gestación no han sido claramente definidos. De acuerdo al planteo expuesto, surgió la siguiente pregunta: ¿cuál es el impacto que ejerce la nutrición baja en energía en el

último tercio de gestación sobre el desempeño de la progenie en nuestros sistemas pastoriles, en condiciones controladas?

1.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Niveles energéticos restrictivos (75 % de los requerimientos) en vacas de cría para carne en el último tercio de gestación deprimen el desempeño productivo y reproductivo de la progenie respecto a niveles energéticos de animales no restringidos (125 % de los requerimientos).

1.2. OBJETIVO GENERAL

Conocer el efecto de los niveles energéticos de dos niveles nutricionales de vacas de cría para carne cursando el último tercio de gestación sobre parámetros comportamentales, productivos y reproductivos de las hijas.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto del consumo de dietas bajas en energía en vacas preñadas en el último tercio de gestación sobre la ganancia diaria de peso vivo, peso vivo al parto, condición corporal preparto y al parto, las características placentarias (peso y número de cotiledones) y en el posparto el peso vivo y condición corporal, así como la producción de leche de la vaca.
- Evaluar el efecto de suministrar dietas bajas en energía a vacas preñadas en el último tercio de gestación sobre el peso vivo, comportamiento y morfometría al nacimiento de las terneras, y la ganancia de peso vivo y peso vivo al destete.
- Evaluar el efecto de suministrar dietas bajas en energía a vacas preñadas en el último tercio de gestación sobre la edad a la pubertad de sus hijas.
- Evaluar el efecto de suministrar dietas bajas en energía a vacas preñadas en el último tercio sobre los perfiles de hormonas metabólicas.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1. Ubicación y diseño del trabajo

El experimento fue realizado en la unidad experimental “Palo a Pique” del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA Uruguay, 33 °S, 56 °O) y todos los procedimientos con animales fueron aprobados por la comisión para la experimentación animal de Uruguay (CHEA, 0009/11) Comisión Honoraria de Experimentación Animal. Para el trabajo fue propuesto un diseño experimental completamente al azar con dos tratamientos, alta y baja energía, ajustando los tratamientos a los -90 y -45 días en función del peso vivo promedio de las vacas en cada tratamiento, según NRC (2000). De un rodeo experimental de 200 vacas de cría para carne puestas en cría por IATF (inseminación artificial a tiempo fijo) con 4 toros seleccionados para bajo peso de la cría al nacimiento, fueron seleccionadas 52 vacas por coincidir con el diagnóstico de gestación de preñez lograda únicamente por IATF. De las preñadas por IATF se seleccionaron 31 vacas (Aberdeen Angus x Hereford), de 4-9 años de edad, multíparas, que estaban gestando terneras y cursando su último tercio de gestación. El diagnóstico de gestación y determinación del sexo de las crías fue realizado el día 116 de gestación por identificación y posicionamiento de genitales (DesCôteaux et al., 2010), y se determinó fecha probable de parto considerando un largo estandarizado de gestación de 280 días (NRC, 2000). De las vacas con preñez sexada fue obtenida la descendencia F1 representada por 31 terneras que, a los dos años de edad, fueron puestas en cría y de las cuales fue obtenida la descendencia F2 conformada por 26 terneros totales. Desde el comienzo de los tratamientos hasta el final del trabajo experimental, vacas y terneros fueron monitoreados continuamente procurando su bienestar en el manejo y en la realización de las distintas actividades (evaluación y mediciones) (figura 1, cuadro 1).

1.4.2. Alimentación

Previo al comienzo del experimento, todas las vacas fueron acostumbradas a consumir un concentrado comercial y heno por un período de 20 días. Una vez completado el

acostumbramiento, las vacas fueron manejadas durante el período experimental en un corral a cielo abierto con piso de arena, disponiendo de 30 m² por vaca, sin acceso a pastura natural u otro alimento distinto al ofrecido y con libre acceso al agua. El concentrado comercial con el que fueron alimentadas las vacas contenía 13,5 % de proteína y 2,5 % de extracto al éter formulado con base en granos de cereal (maíz, sorgo) y subproductos industriales (afrechillo de arroz y expeler de soja). Para evitar trastornos de pH en el rumen, se adicionaron 25 g de amortiguador de pH ruminal en la mezcla (Acid-Buf[®] Celtic Sea Minerals, Co. Cork, Ireland) y, para balancear los requerimientos de calcio y fósforo, se suministró sal comercial *ad libitum* en el corral con 16 % Ca⁺² y 6 % P (Bovifos[®], Nutral, Canelones, Uruguay) en saleros comunitarios. Al concentrado se agregó 2 kg/animal/día de heno seco como fuente de fibra efectiva (*Lolium perenne* y *Holcus lanatus*). La estimación de la energía contenida en el alimento se realizó aplicando la ecuación sugerida por Hach (1987), donde la EM (Mcal/kg MS) = (3,6 x (81,41 – 0,48 x FDA %)) / 100). El concentrado fue ajustado el día –90 de acuerdo con el estado fisiológico y peso vivo promedio de las vacas (NRC, 2000), lo que resultó en 8,0 y 4,8 kg de concentrado por animal y por día (tal cual ofrecido) para nivel ALTO y BAJO, respectivamente. En el día –45, la cantidad de concentrado fue nuevamente ajustada de acuerdo con la evolución del PV promedio, lo que resultó en 9,1 kg y 5,4 kg por animal y por día para nivel ALTO y BAJO, respectivamente.

1.4.3. Video adjunto

Se incluye adjunto con la tesis, un archivo de video que se encuentra disponible en el repositorio Colibri. El video fue filmado por INIA durante el período experimental y muestra una visualización aérea completa del corral a cielo abierto, la actividad de manejo de las vacas para su encierro y posterior alimentación y, la alimentación per se ofrecida.

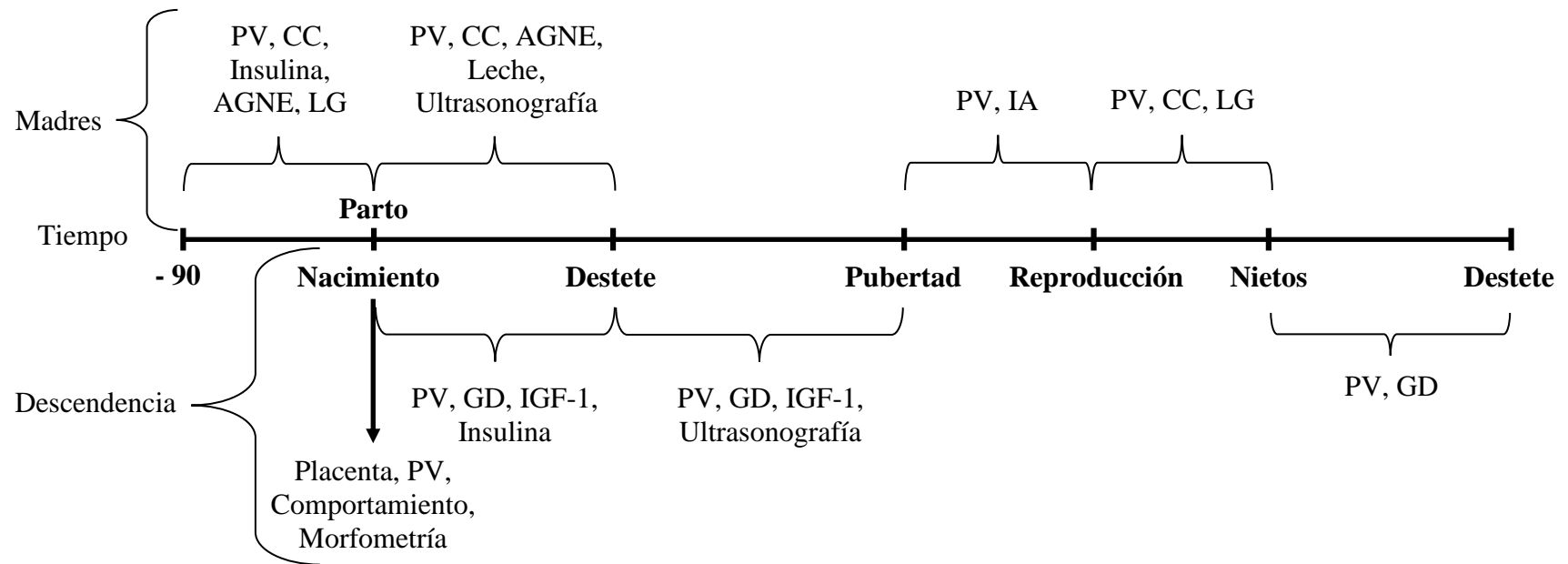


Figura 1. Línea de tiempo para mediciones, registros y toma de muestras realizadas en madres de los tratamientos y en la descendencia. PV = peso vivo, CC = condición corporal, GD = ganancia diaria, AGNE = ácido graso no esterificado, LG = largo de gestación, IGF-1 = factor similar a la insulina tipo uno, IA = inseminación artificial.

Cuadro 1. Actividades, momentos e intervalos de tiempo para la recolecta de muestras y registro de información para las variables.

Actividad	Durante Tratamientos	Parto / Nacimiento	Posparto	Destete	Pubertad
Peso vivo y condición corporal en vacas	cada 28 días	hasta aquí	cada 14 días	hasta aquí	
Muestreo de sangre en las vacas	cada 28 días	hasta aquí	cada 14 días	hasta aquí	
Comportamiento de las terneras		aquí			
Morfometría de las terneras		dentro de las 8 h de nacer			
Evaluación de las placentas		inmediato a expulsión			
Ordeño de las vacas			uno mensual	hasta aquí	
Ultrasonografía en vacas y terneras			a los 60 días		2 mensual
Muestreo de sangre en las terneras			cada 14 días	hasta aquí	hasta aquí semanal

1.4.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado utilizando modelos lineales mixtos (MIXED), incluyendo en el modelo como efecto fijo al tratamiento y edad de la madre y como aleatorios al padre y biotipo de la vaca.

De acuerdo al diseño y variables, el experimento sigue las pautas y principios de los modelos lineales mixtos ($y = \mu + X\beta + Z\gamma + \varepsilon$) así:

Modelo experimental:

$$Y_{ij} = \mu + X_i + A_j + e_{ij}$$

Donde:

Y = variable dependiente

μ = media

X = matriz fijo; tratamiento $i = (A \text{ y } B)$, edad $i = (4, 5, 6, 7, 8, 9)$

A = variables aleatorias $j = \text{padre, madre}$

e_{ij} = error

Las variables de PV, GD (ganancia diaria de peso vivo), CC (condición corporal), concentración de metabolito, hormonas y la producción de leche fueron analizados como medidas repetidas utilizando modelo lineal mixto con tiempo como el efecto repetido y regresivo de primer orden. Las variables con la información reproductiva se analizaron utilizando el procedimiento para modelos lineales generalizados mixtos (GLIMMIX). En las variables con distribución binomial (proporción de anestro o preñez), la función de enlace fue Logit y, para las variables con distribución de Poisson (parto-concepción), la función de enlace fue Log. Para todos los análisis estadísticos, se utilizó el programa SAS 9.4 (SAS Institute Inc, Cary, NC, EE. UU.).

Esta tesis tiene dos artículos científicos, que se adjuntan:

- «Efecto de dos niveles de energía en la dieta durante el último tercio de gestación de vacas para carne sobre características de la placenta y la descendencia al nacimiento».
- «Efecto del nivel de energía de la dieta en el último tercio de gestación sobre el desempeño productivo y reproductivo de vacas para carne y su descendencia».

Ambos artículos están publicados en la revista arbitrada *ALPA-Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. Los artículos describen el trabajo realizado para evaluar el efecto de niveles de energía contrastantes durante el último tercio de gestación de vacas de cría para carne sobre las variables productivas y reproductivas de las vacas y su descendencia, reportando el peso vivo y condición corporal y los perfiles metabólicos y hormonales durante el periparto y la lactancia temprana, y la producción de leche de los vientres. Se destacan el comportamiento y morfometría al nacimiento, el peso vivo y la ganancia diaria de peso, los perfiles hormonales, la edad a la pubertad y el porcentaje de preñez en la descendencia (F1) y el peso vivo y la ganancia diaria de peso en la (F2).

Por último, se presenta una discusión general y conclusiones generales.

2. EFECTO DE DOS NIVELES DE ENERGÍA EN LA DIETA DURANTE EL ÚLTIMO TERCIO DE GESTACIÓN DE VACAS PARA CARNE SOBRE CARACTERÍSTICAS DE LA PLACENTA Y LA DESCENDENCIA AL NACIMIENTO



Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 2020. 28 (1-2)

www.doi.org/10.53588/alpa.281202

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

Carlos Batista¹ ✉ José Ignacio Velazco² ✉ Fernando Baldi³ ✉ Georget Banhero² ✉

Graciela Quintans³ ✉

2. EFECTO DE DOS NIVELES DE ENERGÍA EN LA DIETA DURANTE EL ÚLTIMO TERCIO DE GESTACIÓN DE VACAS PARA CARNE SOBRE CARACTERÍSTICAS DE LA PLACENTA Y LA DESCENDENCIA AL NACIMIENTO

Carlos Batista¹, José Ignacio Velazco², Fernando Baldi³, Georget Banchemo²
y Graciela Quintans²

¹Facultad de Agronomía–UdelaR – Uruguay. carlosjbatistab@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5377-3857>. ²Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria – Uruguay. jvelazco@inia.org.uy <https://orcid.org/0000-0003-0445-5064>. ²Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria – Uruguay. gbanchemo@inia.org.uy <https://orcid.org/0000-0002-1146-3612>. ²Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria – Uruguay. gquintans@inia.org.uy <https://orcid.org/0000-0003-4746-6468>. ³Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista – Brasil. fernandobaldiuy@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-4094-2011>.

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

2.1. Abstract. The objective of the present study was to evaluate two energy intake levels during the last third of gestation of beef cows, placental characteristics, ethological and morphometric variables of their female calves were evaluated. Thirty-one British multiparous cows, inseminated at fixed time and carrying females were assigned on Day –90 (Day 0=delivery) to two levels of energy intake until delivery: i- 125 % of the requirements (ALTA; n=15) and ii- 75 % of the requirements (BAJA; n=16). In the cows, live weight (PV), body condition score (CC), concentration of unesterified fatty acids (AGNE) and insulin were recorded. Placenta (weight, number of cotyledons and placental efficiency) was characterized and morphometric and

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

¹ Autor para la correspondencia: carlosjbatistab@gmail.com

behavioural measures were evaluated within the first 24 hours of calf life. At calving, BAJA cows had a higher concentration of AGNE (0.45 ± 0.03 vs 0.27 ± 0.03 mmol/L, $P < 0.01$) and lower insulin (8.83 ± 0.73 vs 10.88 ± 0.71 μ IU/ml, $P < 0.03$), as well as lower PV (478 ± 15.4 vs 521 ± 11.8 kg, $P < 0.01$) and CC (3.9 ± 0.08 vs 4.5 ± 0.06 u; $P < 0.01$) compared to ALTA cows. The characteristics evaluated in the placentas were not affected by treatments, nor was the PV of the calves at birth. In the same way, none of the morphometric or behavioural variables were significantly affected by the treatments. In the present experiment, the undernourished cows mobilized body reserve during the last third of gestation to protect the integrity of their offspring; this was verified by the absence of differences in the parameters evaluated. Possibly, cows grazing native pastures develop mechanisms of accumulation and mobilization of body reserves that allow them, at least for the conditions of the present study, to overcome periods of forage shortage as an adaptation strategy.

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

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

de las variables morfológicas ni comportamentales fue afectada significativamente por los tratamientos. En el presente experimento, las vacas subalimentadas movilizaron reserva corporal durante el último tercio de gestación para resguardar la integridad de sus crías verificado por la ausencia de diferencias en los parámetros evaluados. Posiblemente las vacas pastoreando campo nativo desarrollen mecanismos de acumulación y movilización de reservas corporales que les permite, al menos para las condiciones del presente estudio, sobreponerse a los períodos de escasez de forraje como estrategia de adaptación.

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

2.3. Introducción

Este trabajo se enmarca en una línea de investigación que evalúa el efecto del nivel de energía en el sistema de producción sobre la producción de crías hembra.

En condiciones de pastoreo y especialmente de pasturas nativas, la capacidad de cubrir los requerimientos correspondientes al último tercio de gestación en vacas para carne suele estar limitada por la baja cantidad y calidad de alimento (Bermúdez y Ayala 2005). Esto condiciona la adecuada ingesta de energía y proteína y determina una movilización de reservas que afecta el peso vivo y condición corporal de la madre gestante (Martin *et al.*, 2007; Quintans *et al.*, 2008; Quintans *et al.*, 2010). Esta movilización de reservas de energía está asociada con la movilización de ácidos grasos y disminución en la concentración de insulina como mediadora entre energía y metabolismo (Hess *et al.*, 2005; Meikle *et al.*, 2005). Las alteraciones en la nutrición materna generalmente afectan la función placentaria y están en general asociadas con bajo crecimiento fetal, inadecuado desarrollo y bajo peso al nacimiento (Vonnahme *et al.*, 2007; Schoonmaker, 2013; Reyes, 2015). En bovinos, el desarrollo de la placenta comienza a los 25 a 30 días de gestación y su crecimiento y desarrollo máximo se alcanza en el último tercio de gestación, acompañando el crecimiento del feto lo que conlleva un incremento en la demanda de energía (Assis Neto *et al.*, 2010);

Schoonmaker, 2013). Vonnahme *et al.* (2007) reportaron una disminución en el peso de la placenta sin cambios evidentes en el peso fetal en vacas para carne con subnutrición energética durante el primer tercio de gestación. Son escasos los reportes que vinculan el efecto del estado nutricional de las vacas al final de la gestación con el vigor de las crías (Riley *et al.*, 2004). En este sentido, un trabajo clásico de Kroker y Cummins (1979) reporta que el vigor de terneros y terneras hijos de vaquillonas mantenidas con bajo plano de alimentación (sin diferenciar entre energía y/o proteína) durante el último tercio de gestación fue afectado negativamente. La nutrición energética inadecuada durante la gestación influye negativamente sobre el crecimiento del feto. Ejemplo de esto son los trabajos de Gao *et al.* (2012), que empleando vacas lecheras alimentadas con bajo nivel de energía (5,25 MJ/kg/materia seca (MS)) durante los últimos 21 días de gestación observaron terneros con menor peso vivo, altura corporal, longitud corporal, circunferencia torácica y circunferencia abdominal respecto de la progenie de vacas con alto nivel de energía (6.48 MJ/kg/MS). En la progenie de vacas de cría para carne los resultados de peso vivo fueron contradictorios cuando la restricción fue del orden del 20 % a 30 % durante el primer y segundo tercio de gestación (Underwood *et al.*, 2010; Long *et al.*, 2012). Sin embargo, deficiencias de energía del 30 % durante el último tercio de gestación en vaquillonas provocaron bajos pesos al nacimiento y al destete (Corah *et al.*, 1975). Por otra parte, Maresca *et al.* (2018) evaluando la descendencia de vacas para carne alimentadas en dos planos nutricionales diferentes de proteína (6 % vs 12 % PC, base MS), no observaron diferencias evidentes en peso vivo y medidas morfométricas de las terneras. La mayoría de reportes vinculan el efecto del estado nutricional de las vacas en gestación con el desempeño de sus terneros (Underwood *et al.*, 2010; Gao *et al.*, 2012), sin considerar que la nutrición prenatal puede condicionar el futuro desarrollo productivo y reproductivo de la ternera (Riley *et al.*, 2004; Martin *et al.*, 2007; Funston *et al.*, 2010). Es claro que el ambiente nutricional puede condicionar el desarrollo y tamaño de las crías al parto (Funston *et al.*, 2010), por lo que se requiere más información acerca del efecto nutricional energético en el último tercio de gestación sobre el desarrollo y comportamiento de la progenie hembra en vacas de carne, más aún cuando se trata de ganadería a cielo abierto.

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

2.4. Materiales y métodos

2.4.1. Ubicación y diseño experimental

El experimento fue realizado en la unidad experimental “Palo a Pique” del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA Uruguay, 33 °S, 56 °O) y todos los procedimientos con animales fueron aprobados por la comisión para la experimentación animal de Uruguay (CHEA, 0009/11). De un rodeo experimental de 200 vacas inseminadas a tiempo fijo con 4 toros seleccionados por bajo peso al nacimiento, se seleccionaron 31 (Aberdeen Angus x Hereford), de 4 - 9 años, multíparas, gestando terneras y cursando su último tercio de gestación. El diagnóstico de gestación y determinación del sexo de las crías fue realizado el día 116 de gestación, y se determinó fecha probable de parto considerando un largo de gestación estandarizado de 280 días (NRC, 2000). En el día -90 (Día 0=parto) las vacas fueron asignadas a dos tratamientos contrastantes de energía hasta el parto: i- alimentadas al 125 % de los requerimientos energéticos de mantenimiento (NRC, 2000) (nivel ALTO, AL; n=15) y ii- alimentadas al 75 % de los requerimientos energéticos de mantenimiento (nivel BAJO; n=16) (Tabla 1).

2.4.2. Alimentación

Previo al comienzo del experimento todas las vacas fueron acostumbradas a consumir una ración totalmente mezclada preparada en base a un concentrado comercial y heno por un período de 20 días. Una vez completado el acostumbramiento, las vacas fueron manejadas durante el periodo experimental en un corral a cielo abierto con piso de

arena, disponiendo de 30 m² por vaca, sin acceso a pastura natural u otro alimento distinto al ofrecido y con libre acceso al agua. El alimento fue suministrado en módulos de alimentación individual, dos veces al día siendo verificado el consumo a través del pesaje diario del alimento rechazado. La estimación de la energía contenida en el alimento se realizó aplicando la ecuación sugerida por Hach (1987). El concentrado fue ajustado el día -90 de acuerdo con el estado fisiológico y peso vivo promedio de las vacas (NRC, 2000), resultando en 8.0 y 4.8 kg de concentrado por animal y por día (tal cual ofrecido) para nivel ALTO y BAJO, respectivamente. En el día -45, la cantidad de concentrado fue nuevamente ajustada de acuerdo con la evolución del PV promedio resultando en 9.1 kg y 5.4 kg por animal y por día para nivel ALTO y BAJO, respectivamente.

Las vacas fueron alimentadas en base a un concentrado comercial con 13.5 % de proteína y 2.5 % de extracto al éter formulado en base a granos de cereal (maíz, sorgo) y subproductos industriales (afrechillo de arroz y expeler de soja). Al concentrado se le agregó 10 % de cáscara de arroz y 2 kg/animal/día de heno seco como fuente de fibra efectiva (*Lolium perenne* y *Holcus lanatus*). Para evitar trastornos de pH en el rumen se adicionaron 25 g de amortiguador de pH ruminal en la mezcla (Acid-Buf[®] Celtic Sea Minerals, Co. Cork, Ireland) y para balancear los requerimientos de calcio y fósforo se suministró sal comercial *ad libitum* en el corral con 16 % Ca⁺² y 6 % P (Bovifos[®], Nutral, Canelones, Uruguay) en saleros comunitarios.

2.4.3. Mediciones en los animales

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

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

Una semana antes de la fecha probable del primer parto se comenzó el período de vigilancia (24 horas) de las vacas de modo que todos los partos fuesen observados y registrados. El período de partos se inició el día previsto y se extendió por 15 días. Luego del parto se recogieron 11 placentas por tratamiento las que fueron drenadas, pesadas y el número de cotiledones registrado. La eficiencia placentaria (EP) fue obtenida por el cociente entre el PV de las terneras al nacimiento y el peso de la placenta (Dwyer *et al.*, 2005). Dentro de las mediciones de comportamiento se registró el tiempo del parto considerado como el período desde que alguna parte de las extremidades de la ternera aparecía por la vulva y cuando la ternera era expulsada (Parto). Luego del nacimiento, se evaluaron los siguientes eventos: intento de pararse, período desde el nacimiento hasta que las terneras logran permanecer al menos 10 segundos sobre sus cuatro miembros (IP); intento en mamar, período que va desde que la ternera logra pararse hasta que intenta mamar (IM); y tiempo mamando, período entre que lograba mamar y terminaba de mamar (TM) (adaptado de Hickson *et al.*, 2008). Dentro de las 8 horas posparto se registró el peso vivo y los valores morfométricos de todas las terneras incluyendo: largo (distancia lineal a lo largo de la columna vertebral desde el hueso occipital hasta la primera vértebra coxígea), altura (distancia lineal desde dorsal de la cadera al piso), circunferencia cefálica (medida alrededor del hueso parietal y la mandíbula, inmediatamente posterior al orbital), circunferencia torácica (perímetro del tórax medido inmediatamente posterior a los miembros anteriores) y circunferencia abdominal (perímetro abdominal medido sobre la línea umbilical) (Maresca *et al.*, 2018). Para las medidas morfométricas se utilizó

cinta métrica con precisión de 1 mm, manejada siempre por el mismo operario (Hickson *et al.*, 2008).

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

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

EN=energía neta, PC=proteína cruda.

2.4.4. Análisis estadístico

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

2.5. Resultados

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

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

Respecto a la concentración de AGNE (mmol/L), se observó una interacción entre el tratamiento y los días ($P < 0.05$). Durante los primeros 30 días posterior al comienzo del tratamiento (días -90 a -60), las concentraciones de AGNE no fueron distintas entre vacas de ALTO y BAJO. Sin embargo, avanzada la gestación, se observó que las vacas de BAJO presentaron niveles de AGNE significativamente ($P < 0.01$) más altos que las vacas de ALTO, tanto al día -30 (0.45 ± 0.03 vs 0.28 ± 0.03 mmol/L) como al parto (día 0; 0.45 ± 0.03 vs 0.27 ± 0.03 mmol/L). La concentración de insulina (μ IU/ml) fue significativamente más alta en vacas ALTO que en BAJO, durante los últimos 60 días de gestación (días -60 a día 0; Figura 1). Las vacas en ALTO presentaron una concentración media de insulina durante todo el período de 11.93 ± 0.48 μ IU/ml mientras que para las de BAJO fue de 9.33 ± 0.54 μ IU/ml ($P < 0.01$).

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

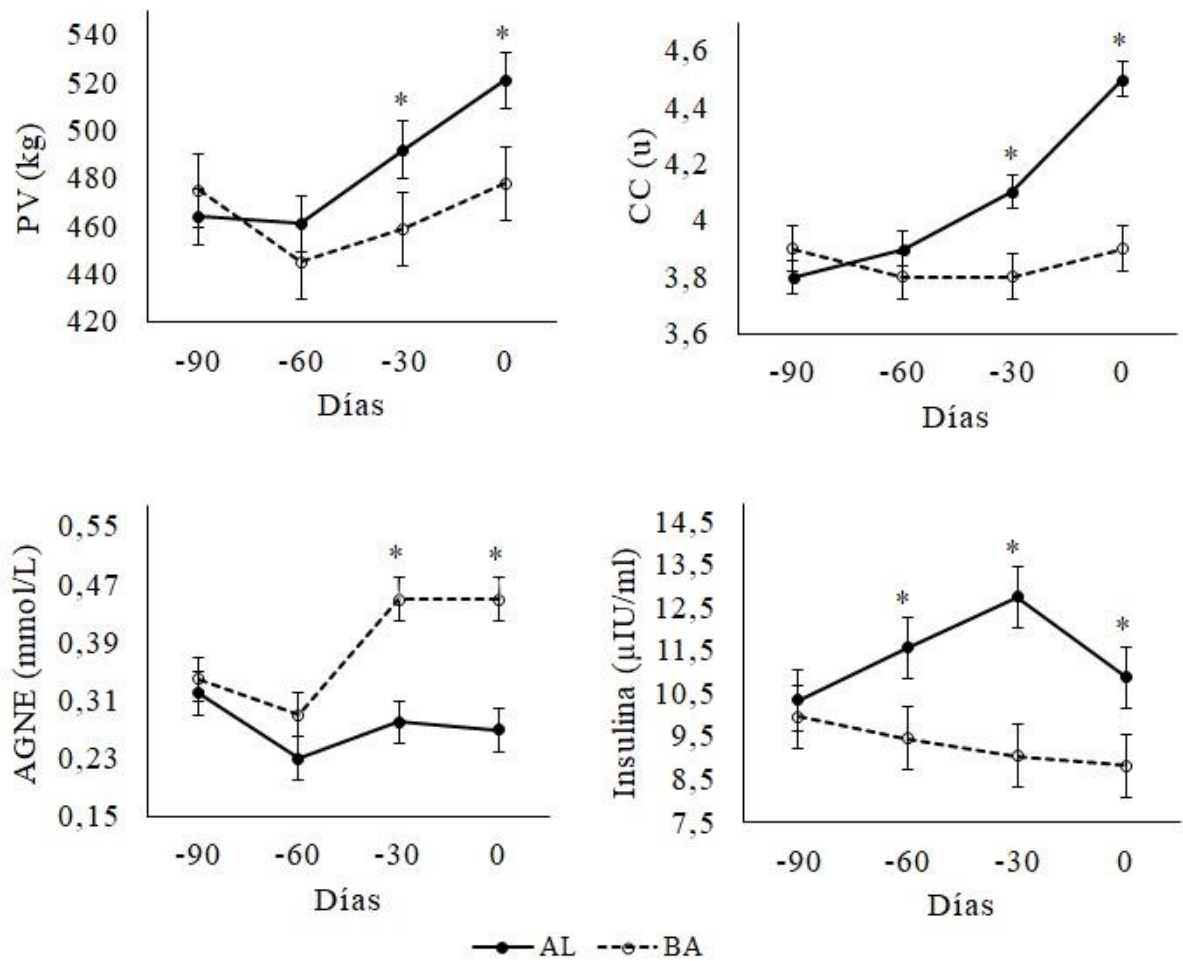


Figura 1. Niveles (media \pm EE) de peso vivo (PV), condición corporal (CC), ácidos grasos no esterificados (AGNE) e insulina de vacas de nivel ALTO (AL) y BAJO (BA), durante la aplicación de los tratamientos nutricionales. * cuando $P \leq 0.05$.

La duración del parto y el intervalo entre el nacimiento e intenta pararse no fueron afectados por los tratamientos. Las terneras del tratamiento BAJO tendieron a mamar en menor tiempo que las de ALTO ($P=0.07$), aunque el tiempo total mamando no fue diferente entre tratamientos (Tabla 2).

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

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

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

Los tratamientos no afectaron ninguna de las variables morfométricas corregidas por el peso vivo al nacimiento de las terneras, ($P>0.05$; Tabla 3). En promedio, la altura registrada fue de 71.4 ± 1.0 cm, el largo de 82.5 ± 2.5 cm, la circunferencia cefálica de 53.5 ± 2.0 cm, la circunferencia torácica de 76.3 ± 2.6 cm y la circunferencia abdominal de 80.5 ± 3.3 cm.

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

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

ALTO=alta energía, BAJO=baja energía.

2.6. Discusión

Los tratamientos nutricionales aplicados a las vacas durante el último tercio de gestación fueron efectivos en generar diferencias en el peso vivo y la condición corporal de las madres. Sin embargo, el nivel de restricción energética impuesta a las vacas del tratamiento BAJO (cubriendo el 75 % de sus requerimientos de

mantenimiento) no afectó de forma evidente las características evaluadas en la progenie.

La evolución de la condición corporal que cursaron las vacas durante la gestación fue diferente entre tratamientos y refleja el nivel de energía consumido. Las vacas de nivel ALTO aumentaron más de medio punto de condición corporal desde el inicio de los tratamientos hasta el parto mientras que las vacas de nivel BAJO mantuvieron la condición corporal en el mismo periodo. En las vacas de nivel BAJO la severidad de la subnutrición (nivel y duración de esta) y la condición corporal inicial pudieron provocar una movilización diferencial de reservas. Durante la subnutrición la reserva corporal subcutánea es inicialmente movilizada por ser más lábil, pero también es movilizado el tejido adiposo perirrenal e intermuscular siendo la contribución de este último cuantitativamente más importante (Chilliard *et al.*, 2000). Es de notar que los cambios en depósitos grasos abdominales e intramusculares no afectan de modo evidente la condición corporal por lo que sería razonable hipotetizar que las vacas pertenecientes al tratamiento BAJO realizaron mayor movilización de algún tipo de reservas energéticas corporales (p.e. grasa perirrenal/intramuscular) para mantener su metabolismo, asociado al menor aumento de peso vivo al final de la gestación en relación con las vacas de ALTO. Verifica esta hipótesis el incremento en la concentración de AGNE observado en las vacas que mantuvieron la condición corporal durante el periodo preparto. El aumento de la concentración de estos ácidos grasos estaría reflejando el déficit de energía en el último tercio de gestación y los cambios hormonales que estimularon la movilización de estos a partir del tejido adiposo (Meikle *et al.*, 2005). Esta teoría coincide con lo expuesto por Radunz *et al.*, (2010) quienes observaron incrementos en la movilización de las reservas grasas de vacas preñadas subnutridas cursando el último tercio, y con Marín *et al.*, (2011) que asociaron el aumento de AGNE con disminución de la condición corporal en ese periodo. En efecto, la lipólisis y consecuente aumento de la concentración de AGNE es estimulada por el déficit de energía, reflejada en nuestro trabajo por la disminución en la concentración de insulina. En el último tercio de gestación la concentración de glucosa al igual que de insulina disminuye por el aumento de las demandas fetales

(Sletmoen-Olson *et al.*, 2000). La insulina tiene un rol central en el control homeostático ya que es una señal importante de mediación entre nutrientes y metabolismo de la glucosa (Hess *et al.*, 2005). Las concentraciones de AGNE e insulina observadas en nuestro trabajo reflejan los niveles nutricionales de los tratamientos energéticos aplicados.

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

El efecto de la subnutrición materna sobre el desarrollo del sistema nervioso de la progenie fue evaluado a través del comportamiento de las terneras mediante la observación de la capacidad de realizar movimientos complejos en el período inmediato posterior al nacimiento. Esta valoración permitió determinar que la ingesta energética durante el último tercio de gestación no afectó de forma evidente a las terneras, al menos en sus primeras horas de vida. Los intervalos de tiempo evaluados desde el nacimiento hasta que la ternera logró pararse e intentó mamar no fueron

afectados por los tratamientos. Resultados similares para la actividad de las crías en el posparto inmediato fueron observados por Dietz *et al.* (2003) suplementando vacas para carne con alimento graso durante el último tercio de gestación. Es posible suponer que en nuestro trabajo el consumo de energía y la eventual movilización de reservas corporales de las vacas durante el periodo preparto no afectó el desarrollo del sistema nervioso central y en consecuencia la conducta posnatal de las crías (tiempo en pararse y mamar). En el último tercio de gestación el desarrollo fetal está abocado al crecimiento de todos los tejidos y comienza la mielinización nerviosa la cual continúa en la vida posnatal (Carrillo *et al.*, 2008). En ovinos, los mayores tiempos para pararse y mamar de los corderos provenientes de madres en baja condición corporal al final de la gestación, fueron parcialmente atribuidos a la cantidad de glucosa que estaría recibiendo el feto (Banchero *et al.*, 2005). Los niveles de energía utilizados en nuestro trabajo posiblemente no afectaron el desarrollo celular y permitieron una adecuada formación de mielina en el sistema nervioso. Las concentraciones de AGNE e insulina observadas en nuestro trabajo expresan en parte la movilización de las reservas como se discutió previamente. Esto permitiría suponer que las terneras de ambos tratamientos recibieron niveles no restrictivos de energía lo que se vio reflejado en similares comportamientos durante las primeras horas de vida. Las terneras del grupo nivel BAJO tendieron a demorar menos en mamar respecto a las de nivel ALTO. Sin embargo, ninguna de las otras variables etológicas estudiadas fueron diferentes entre terneras de ambos tratamientos. Además, se observó que el tiempo dedicado a mamar en las primeras horas de vida no fue diferente en las terneras de BAJO y ALTO por lo que es posible especular que la energía contenida en el calostro cosechado fue suficiente para cubrir los requerimientos de las terneras de ambos tratamientos.

Las medidas morfométricas corregidas por el peso vivo al nacimiento, covariable sugerida por Piaggio *et al.* (2017) para su estimación no fueron diferentes entre tratamientos. Tampoco lo fue el peso vivo de las terneras registrado en los primeros minutos de nacidas. Resultados similares fueron adjudicados a la buena actividad placentaria en vacas que fueron subnutridas en el primer tercio de gestación y realimentadas desde la mitad hasta el día 245 de gestación (Long *et al.*, 2009). El

resultado de peso vivo al nacimiento obtenido en el presente trabajo también coincide con los resultados de Jennings *et al.* (2016) cuando evaluó vacas con 72 % y 142 % de los requerimientos de energía. Sin embargo, cuando el nivel de restricción en la gestación fue más severo (50 a 60 % de los requerimientos), se reportaron caídas del peso vivo y de la condición corporal de las vacas, así como una progenie más liviana respecto de tratamientos no restringidos (Corah *et al.*, 1975). Este menor peso vivo obedecería a que, en el proceso de partición de la energía se afecta negativamente la cantidad disponible para la gestación, comprometiendo el desarrollo fetal (Bell, 1995). Considerando que el mayor crecimiento prenatal se produce en el último tercio de gestación y que no existió diferencia en el peso vivo al nacimiento, podemos interpretar que los niveles nutricionales bajos en energía aplicados en nuestro trabajo no fueron suficientemente severos para generar una disminución en el peso vivo al nacimiento de las terneras. Como fue discutido previamente en vacas en adecuada condición corporal, la movilización de las reservas corporales y el correcto funcionamiento de la placenta habrían ofrecido un adecuado ambiente uterino con suficiente disponibilidad de nutrientes para el desarrollo de las terneras.

El bajo nivel de energía consumida durante el último tercio de gestación en vacas para carne no afectó el desarrollo de la placenta, de las terneras y el comportamiento de éstas en las primeras horas de vida. La movilización de las reservas corporales de las vacas parecería haber cubierto las demandas de energía del último tercio de gestación, evidenciando la capacidad de adaptarse y sobreponerse a estreses nutricionales. Esto fue posible debido a la adecuada condición corporal que presentaron las vacas durante todo el período experimental. Si bien las vacas experimentaron una pérdida evidente de condición corporal, esta nunca cayó a valores que pudieran ser considerados bajos. Restricciones de energía más severas en el último período de la gestación y/o condiciones corporales más bajas durante la gestación podrían causar efectos negativos sobre la descendencia a corto y mediano plazo. Se requiere más investigación en esta área, principalmente para sistemas pastoriles extensivos.

2.7. Conclusión

En los sistemas de cría vacuna, el periodo invernal coincide con el último tercio de gestación, por lo tanto, las vacas atraviesan un balance energético negativo hacia el parto. En dicho período, las vacas experimentarían pérdidas de condición corporal similares a las reportadas en el presente trabajo, potenciando el alargamiento del anestro posparto y posiblemente comprometiendo su desempeño reproductivo en la siguiente estación de cría. En el presente experimento, las vacas subalimentadas que movilizaron reserva corporal durante el último tercio de gestación no afectaron el desempeño de su progenie al parto. Podríamos asumir que las vacas pastoreando campo nativo con restricciones de energía como las utilizadas en el grupo BAJO del presente trabajo desarrollan mecanismos de subsistencia preservando la integridad de la cría para sobreponerse a los períodos de escasez de forraje como estrategia de adaptación. Se necesita continuar generando información con niveles de restricción más severos (incorporando los requerimientos propios del pastoreo a cielo abierto), de forma de establecer un umbral por debajo del cual el desempeño futuro de la progenie podría verse afectado.

2.8. Literatura citada

- Assis Neto, A. C., F. T. V. Pereira, T. C. Santo, C. E. Ambrosio, R. Leiser & M. A. Miglino. 2010. Morpho-physical recording of bovine conceptus (*Bos indicus*) and placenta from days 20 to 70 of pregnancy. *Reproduction in Domestic Animals* 45: 760–772. <https://doi:10.1111/j.1439-0531.2009.01345.x>.
- Banchemo, G., G. Quintans, J. Milton, D. Lindsay. 2005. Comportamiento maternal y vigor de los corderos al parto: Efecto de la carga fetal y la condición corporal, Seminario de reproducción ovina. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Treinta y Tres, Uruguay, pp. 61-67, <<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4562/1/Ad-401-Banchemo-p.61-67.pdf>>.

- Bell, A. W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science* 73: 2804–2819.
- Bermúdez, R., W. Ayala. 2005. Producción de Forraje de un campo natural de la zona de lomadas del Este. En ‘Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural, Resultados experimentales’. Serie Técnica N° 151 pp. 41–50, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Treinta y Tres, Uruguay, <<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630021107142110.pdf>>.
- Carrillo, A. M. H., J. A. G. Gutiérrez, R. L. Lizarde. 2008. Maduración neurológica en lactantes, productos de madres con embarazo de alto riesgo. *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación* 20: 37–42.
- Chilliard, Y., A. Ferlay, Y. Faulconnier, M. Bonnet, J. Rouel & F. Bocquier. 2000. Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society*. 59(1): 127–134.
- Corah, L. R., T. G. Dunn & C. C. Kaltenbach. 1975. Influence of prepartum nutrition on the reproductive performance of beef females and the performance of their progeny. *Journal of Animal Science* 41: 819–824. <https://doi:10.2527/jas1975.413819x>.
- Dietz, R. E., J. B. Hall, W. D. Whittier, F. Elvinger and D. E. Eversole. 2003. Effects of feeding supplemental fat to beef cows on cold tolerance in newborn calves. *Journal of Animal Science* 81: 885–894.
- Dwyer, C. M., S. K. Calvert, M. Farish, J. Donbavand, H. E. Pickup. 2005. Breed, litter and parity effects on placental weight and placentome number, and consequences for the neonatal behaviour of the lamb. *Theriogenology* 63:1092-1110. [10.1016/j.theriogenology.2004.06.003](https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.06.003).

- Funston, R. N., D. M. Larson & K. Vonnahme. 2010. Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance, implications for beef cattle production. *Journal of Animal Science* 88:205–215. <https://doi:10.2527/jas.2009-2351>.
- Gao, F., Y. C. Liu, Z. H. Zhang, C. Z. Zhang, H. W. Su & S. L. Li. 2012. Effect of prepartum maternal energy density on the growth performance, immunity, and antioxidation capability of neonatal calves. *Journal of Dairy Science* 958: 4510–4518. <https://doi:10.3168/jds.2011-5087>.
- Hach, C. O. 1987. Food and feed analysis instruction manual. Hach, Inc., Loveland, CO. p.12-16.
- Hess, B.W., S. L. Lake, E. J. Scholljegerdes, T. R. Weston, V. Nayigihugu, J. D. C. Molle, G. E. Moss. 2005. Nutritional controls of beef cows reproduction. *Journal of Animal Science* 83: Suppl. 13: E90–E106.
- Hickson, R. E., P. R. Kenyon, N. Lopez-Villalobos, S. T. Morris. 2008. Effects of liveweight gain during pregnancy of 15 -month- old Angus heifers on dystocia and birth weight, body dimensions, estimated milk intake and weaning weight of the calves. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 51:2, 171–180. <https://doi:10.1080/00288230809510445>.
- Jennings, T. D., M. G. Gonda, K. R. Underwood, A. E. Wertz-Lutz & A. D. Blair. 2016. The influence of maternal nutrition on expression of genes responsible for adipogenesis and myogenesis in the bovine foetus. *Animal* 10: 1697–1705. <https://doi:10.1017/S1751731116000665>.
- Kroker, G. A. & L. J. Cummins. 1979. The effect of nutritional restriction on hereford heifers in late pregnancy. *Australian Veterinarian Journal* 55: 467–474. <https://doi:10.1111/j.1751-0813.1979.tb00371.x>.

- Lemley, C. O., C. G. Hart, R. L. Lemire, E. H. King, R. M. Hopper, S. B. Park, B. J. Rude & D. Burnett. 2018. Maternal nutrient restriction alters uterine artery hemodynamic and placentome vascular density in *Bos indicus* and *Bos taurus*. *Journal of Animal Science*. 96: 4823-4834.
- Long, N. M., C. B. Tousley, K. R. Underwood, S. I. Paisley, W. J. Means, B. W. Hess, M. Du and S. P. Ford. 2012. Effects of early to mid-gestational undernutrition with or without protein supplementation on offspring growth, carcass characteristics, and adipocyte size in beef cattle. *Journal of Animal Science* 90: 197-206.
- Long, N. M., K. A. Vonnahme, B. W. Hess, P. W. Nathanielsz, S. P. Ford. 2009. Effects of early gestational undernutrition on fetal growth, organ development, and placentomal composition in the bovine. *Journal of Animal Science* 87: 1950–1959.
- Maresca, S., S. O. Lopez Valiente, A. M. Rodriguez, N. M. Long, E. Pavan, G. Quintans. 2018. Effect of protein restriction of bovine dams during late gestation on offspring postnatal growth, glucose - insulin metabolism and IGF-1 concentration. *Livestock Science* 212: 120–126.
- Marín, M. P., C. Ríos, H. Contreras, J. Robles, P. Meléndez. 2011. Ácidos grasos no esterificados al parto y su relación con producción lechera en vacas Holstein. *Archivos de Zootecnia* 60: 257–264.
- Martin, J. L., K. A. Vonnahme, D. C. Adams, G. P. Lardy & R. N. Funston. 2007. Effects of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *Journal of Animal Science* 85: 841–847. <https://doi:10.2527/jas.2006-337>.
- Meikle, A., D. Cavestany, J. Blanc, E. Krall, G. Uriarte, M. Rodríguez-Irazoqui, G. Ruprecht, A. Ferraris, P. Chilibroste. 2005. Perfiles metabólicos y endócrinos, parámetros productivos y reproductivos en vacas de leche en condiciones pastoriles. *Veterinaria* 40: 25–40.

- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle', Seventh Revised Edition, Update 2000 Subcommittee on Beef Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council Available from the National Academies Press, Consultado en enero 2017, <<http://napedu/catalog/9791html>>.
- Piaggio, L., G. Quintans, R. San Julián, G. Ferreira, J. Ithurralde, S. Fierro, A. S. C. Pereira, F. Baldi and G. E. Banchemo. 2017. Growth, meat and feed efficiency traits of lambs born to ewes submitted to energy restriction during mid-gestation. *Animal* 1–9.
- Quintans, G., G. Banchemo, M. Carriquiry, C. López, F. Baldi. 2010. Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Animal Production Science* 50: 931–938.
- Quintans, G., J. I. Velazco y G. Roig. 2008. Seminario de actualización técnica, cría vacuna Servicio de vaquillonas en otoño a los 20 meses de edad (resultados preliminares). Serie Técnica INIA N° 174 pp. 90, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Treinta y Tres, Uruguay, <<http://www.inia.uy/Publicaciones/Paginas/publicacion-1777.aspx>>.
- Radunz, A. E., F. L. Fluharty, M. L. Day, H. N. Zerby and S. C. Loerch. 2010. Prepartum dietary energy source fed to beef cows: I. Effects on pre and postpartum cow performance. *Journal of Animal Science* 88: 2717–2728.
- Reyes, R. B. & L. A. F. Carrocera. 2015. Programación metabólica fetal. *Perinatología y Reproducción Humana* 29: 99–105.
- Riley, D. G., C. C. Chase, T. A. Olson, S. W. Coleman & A. C. Hammond. 2004. Genetic and nongenetic influences on vigor at birth and preweaning mortality of purebred and high percentage Brahman calves. *Journal of Animal Science* 82: 1581–1588.

- Schoonmaker, J. 2013. Effect of Maternal Nutrition on Calf Health and Growth. *WCDS Advances in Dairy Technology* 26: 125–135.
- Sletmoen-Olson, K. E., J. S. Caton, K. C. Olson, D. A. Redmer, J. D. Kirsch and P. Reynolds. 2000. Undergraded intake protein supplementation: II. Effects on plasma hormone and metabolite concentrations in periparturient beef cows fed low-quality hay during gestation and lactation. *Journal of Animal Science* 78: 456–463.
- Underwood, K. R., J. F. Tong, P. L. Price, A. J. Roberts, E. E. Grings, B. W. Hess, W. J. Means and M. Du. 2010. Nutrition during mid to late gestation affects growth, adipose tissue deposition, and tenderness in cross-bred beef steers. *Meat Science* 86: 588-93.
- Vonnahme, K. A. & C. Lemley. 2012. Programming the offspring through altered uteroplacental hemodynamics, how maternal environment impacts uterine and umbilical blood flow in cattle, sheep and pigs. *Reproduction Fertility and Development* 24: 97–104. [https://doi: 10.1071/RD11910](https://doi:10.1071/RD11910).
- Vonnahme, K. A., M. J. Zhu, P. P. Borowicz, T. W. Geary, B. W. Hess, L. P. Reynolds, J. S. Caton, W. J. Means & S. P. Ford. 2007. Effect of early gestational undernutrition on angiogenic factor expression and vascularity in the bovine placenta, *Journal of Animal Science* 85: 2464–2472. <https://doi:10.2527/jas.2006-80>.



3. EFECTO DEL NIVEL DE ENERGÍA DE LA DIETA EN EL ÚLTIMO TERCIO DE GESTACIÓN SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO DE VACAS PARA CARNE Y SU DESCENDENCIA



Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 2022. 30 (4)

www.doi.org/10.53588/alpa.300406

Efecto del nivel de energía de la dieta en el último tercio de gestación sobre el desempeño productivo y reproductivo de vacas para carne y su descendencia

Carlos Batista¹  

José Ignacio Velazco²   Graciela Quintans³  

Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

3. EFECTO DEL NIVEL DE ENERGÍA DE LA DIETA EN EL ÚLTIMO TERCIO DE GESTACIÓN SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO DE VACAS PARA CARNE Y SU DESCENDENCIA

Carlos Batista², carlosbatistab@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5377-3857>

José Ignacio Velazco³, jose.velazco@ucu.edu.uy <https://orcid.org/0000-0003-0445-5064>

Graciela Quintans⁴, gquintans@inia.org.uy <https://orcid.org/0000-0003-4746-6468>

Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Effect of diet energy level in the last third of gestation on productive and reproductive performance of beef cows and their progeny

Abstract. The objective of the experiment was to evaluate the productive and reproductive performance of cows fed on two energy levels in the last third of gestation and productive and reproductive performance of the offspring. Thirty-one multiparous pregnant British cows, carrying a female foetus, were assigned on Day -90 (Day 0 = calving) to two levels of energy intake until parturition, treatments: 125 % of the requirements (HIGH; n = 15) and 75 % of the requirements (LOW; n = 16). After calving, mothers and calves F1 remained together until weaning and all of the heifers were artificially inseminated at two years old. In the cows, live weight (LW), body condition score (BC), the concentration of non-esterified fatty acids (AGNE), milk production and diagnosis of ovarian activity (DOA) were recorded. In the offspring F1, the following parameters were analysed: in calves LW, BCS and metabolic hormones, in heifers LW, BCS and DOA, and in their offspring F2 LW and weight gain (WG). The feeding treatments of cows affected the BCS in the lactation period

Recibido: 27-06-2022. Aceptado: 19-11-2022.

² Autor para la correspondencia: carlosbatistab@gmail.com

³ Universidad Católica del Uruguay

⁴ Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria,

(4.2 ± 0.04 u for HIGH and 3.9 ± 0.05 u for LOW, $P < 0.05$), the AGNE concentrations from calving to weaning (0.46 ± 0.02 mmol/L for HIGH vs 0.37 ± 0.02 mmol/L for LOW, $P = 0.05$), and the calving-conception interval (102 ± 2.6 days for HIGH and 124 ± 2.7 days for LOW, $P < 0.05$), but did not affect milk production. Treatment of cows affected the LW at weaning (201 ± 3.7 kg vs 188 ± 4.1 kg, $P < 0.05$) and WG at weaning (0.90 ± 0.02 kg vs 0.84 ± 0.02 kg, $P < 0.05$) of F1 cows. From weaning to puberty WG and LW of F1 were not affected by treatments. F2 calves were not affected by treatments. The LOW cows mobilized body reserve, maintained milk production and lengthened the calving-conception period. Maternal nutritional restriction had an effect on offspring variables at weaning and thereafter were diluted.

Keywords: subnutrition; breeding cows; grazing; offspring; metabolism; reproduction.

Efeito do nível de energia da dieta no terço final da gestação no desempenho produtivo e reprodutivo de vacas de corte e sua progênie

Resumo. O objetivo deste experimento foi estudar o desempenho produtivo e reprodutivo de vacas alimentadas com dois níveis de energia no último terço da gestação no desempenho produtivo e reprodutivo da sua progênie. Trinta e uma vacas multiparas, de raças britânicas e gestando um feto fêmea, foram distribuídas aleatoriamente ao Dia -90 (Dia 0 = parto) à dietas com dois níveis de consumo de energia até o parto: 125 % (ALTO; $n=15$) e 75 % (BAIXO; $n = 16$). Após o nascimento, as bezerras permaneceram com as suas mães até o desmame e aos 2 anos de idade elas foram inseminadas. As vacas foram avaliadas quanto ao peso vivo (PV), condição corporal (CC), concentração de ácido graxo não esterificado (AGNE), produção de leite e atividade ovariana diagnóstica (DAO). As fêmeas F1 foram avaliadas usando as medidas de PV, ganho de peso diário (GD) e níveis de hormonas metabólicas até o desmame. A partir do desmame, as novilhas F1 foram avaliados quanto ao PV, GD, CC e DAO, e as bezerras F2 foram avaliados quanto ao PV e GD. O tratamento afetou a CC das fêmeas em lactação (ALTO = 4.2 ± 0.04 vs BAIXO = 3.9 ± 0.05 , $P < 0.05$), a concentração de AGNE do parto ao desmame (ALTO = 0.46

± 0.02 mmol/L vs BAIXO = 0.37 ± 0.02 mmol/L, $P = 0.05$) e o intervalo parto-concepção das vacas (102 ± 2.6 dias para ALTO e 124 ± 2.7 dias para BAIXO, $P < 0.05$), mas não afetou a produção de leite. O tratamento das vacas afetou o PV ao desmame (ALTO= 201 ± 3.7 kg vs BAIXO = 188 ± 4.1 kg, $P < 0.05$) e GD ao desmame (ALTO = 0.90 ± 0.02 kg vs BAIXO = 0.84 ± 0.02 kg, $P < 0.05$) das F1. Do desmame à puberdade, o GD e o PV de animais F1 não foram afetados pelos tratamentos. As variáveis obtidas em animais F2 não foram afetadas pelos tratamentos. As vacas BAIXO mobilizaram a reserva corporal, mantiveram a produção de leite e prolongaram o período de parto-concepção. A restrição nutricional materna teve efeito significativo sobre as variáveis estudadas na descendência F1 ao desmame e foi posteriormente diluída.

Palavras chave: subnutrição; vacas reprodutoras; pastoreio; descendência; metabolismo; reprodução.

Resumen. El objetivo del experimento fue estudiar el desempeño productivo y reproductivo de vacas alimentadas en dos niveles de energía en el último tercio de gestación y el desempeño productivo y reproductivo de la descendencia. Treinta y una vacas británicas multíparas gestando hembras, fueron asignadas el Día -90 (Día 0 = parto) a dos niveles de consumo de energía hasta el parto: 125 % (ALTO; $n = 15$) y 75 % (BAJO; $n = 16$). Luego del nacimiento, las terneras permanecieron con sus madres hasta el destete; a los 2 años de edad fueron inseminadas. En las vacas fue analizado el peso vivo (PV), la condición corporal (CC), la concentración de ácidos grasos no esterificados (AGNE), producción de leche y el diagnóstico de actividad ovárica (DAO). En terneras F1 fue analizado el PV, ganancia de peso diaria (GD) y hormonas metabólicas hasta el destete; del destete en adelante como vaquillonas F1, se evaluaron el PV, la GD, la CC, el DAO y preñez; en terneras F2, el PV y la GD. El tratamiento afectó la CC en la lactancia (ALTO = 4.2 ± 0.04 u vs BAJO = 3.9 ± 0.05 u, $P < 0.05$), la concentración de AGNE desde el parto al destete (ALTO = 0.46 ± 0.02 mmol/L vs BAJO = 0.37 ± 0.02 mmol/L, $P = 0.05$) y el intervalo parto-concepción de las vacas (ALTO = 102 ± 2.6 días vs BAJO = 124 ± 2.7 días, $P < 0.05$), pero no afectó la producción de leche. El tratamiento de las vacas afectó el PV al destete (ALTO = 201

± 3.7 kg vs BAJO = 188 ± 4.1 kg, $P < 0.05$) y la GD al destete (ALTO = 0.90 ± 0.02 kg vs BAJO = 0.84 ± 0.02 kg, $P < 0.05$) de las F1. Del destete a la pubertad, la GD y el PV de las F1 no fue afectado por los tratamientos. Las terneras F2 no fueron afectadas por los tratamientos. Las vacas de BAJO movilizaron reserva corporal, mantuvieron la producción de leche y alargaron el período parto-concepción. La restricción nutricional materna tuvo efecto en las variables de la descendencia F1 al destete y posteriormente se diluyeron.

Palabras clave: subnutrición; vacas de cría; pastoreo; descendencia; metabolismo; reproducción.

3.4. Introducción

La capacidad de cubrir los requerimientos correspondientes al último tercio de gestación en vacas para carne suele estar limitada por la baja cantidad y calidad de alimento, más aún en condiciones de pastoreo y especialmente de pastizales nativos (Bermúdez y Ayala 2005). En el último tercio de la gestación de las vacas de cría con pariciones de primavera las demandas de energía aumentan 30 a 50 % respecto a los requerimientos de mantenimiento, coincidiendo con limitaciones en la cantidad y calidad de alimento en los sistemas de producción a campo (Bell, 1995). El aumento en la demanda nutricional y la inadecuada ingesta de energía y proteína determina una movilización de reservas que afecta el peso vivo y la condición corporal pre y posparto (Larson et al., 2009; Quintans et al., 2010). Esta movilización de reservas de energía está asociada con la movilización de ácidos grasos como fuente de energía (Hess et al., 2005; Meikle et al., 2005). Reportes recientes indicaron que el crecimiento postnatal de las crías y la reproducción podían optimizarse mediante la suplementación materna de energía y el aumento de la puntuación de la condición corporal de la vaca durante la gestación (Moriel et al., 2022). Los mismos autores mencionaron que los resultados específicos sobre el rendimiento de las crías fueron variables, manifestándose la complejidad para obtener resultados de investigación claros. En este sentido, aspectos como los efectos de niveles de energía nutricional contrastantes en el último tercio de gestación sobre la respuesta de acuerdo al sexo de la cría y la interacción entre la

nutrición prenatal y el posterior manejo nutricional postnatal de las terneras, no son claros (Barcelos et al., 2022; Wathes, 2022). La suplementación nutricional en vacas de cría en el último tercio de gestación se relacionó con aumento del peso vivo al destete de la progenie (Funston et al., 2010b), aunque sin beneficios en el peso vivo a la pubertad o sobre la reproducción (Larson et al., 2009). En cambio, deficiencias de energía del 30 % durante el último tercio de gestación en vaquillonas provocaron bajo peso vivo al nacimiento y al destete (Corah et al., 1975). En esta misma línea, los resultados de peso vivo de la progenie de vacas de cría para carne, con restricción nutricional del orden del 20 % a 30 % durante el primer y segundo tercio de gestación, fueron contradictorios (Underwood et al., 2010; Long et al., 2012). En tanto, la restricción de energía nutricional del 25% en el segundo y último tercio de gestación de vacas maduras para carne, no afectó negativamente el peso vivo al nacimiento, al destete o en la pubertad de la descendencia (Cushman et al., 2014). Estos mismos autores reportaron que las hijas de vacas no restringidas parieron su primera cría en los primeros 21 días de comienzos de la temporada de parición. Una investigación reciente indicó que la nutrición materna durante la gestación puede inducir cambios neuroendocrinos que influyan en el rendimiento reproductivo de la descendencia (Cardoso et al., 2022). La IGF-1 (factor de crecimiento insulínico tipo I) y la insulina son indicadores metabólicos que aumentan con la mayor ingesta de alimento y/o la mejora del estado nutricional y también se correlacionan con la capacidad de un animal para lograr reproducirse (León et al., 2004; Rhind et al., 2004; Sullivan et al., 2009; Ruiz et al., 2011). La información documentada respecto al efecto de cambios nutricionales aplicados a las madres en gestación sobre concentración de IGF-1 e insulina durante la lactación de la descendencia es confusa, aunque elevadas concentraciones de IGF-1 prepuberal fueron asociadas con precocidad puberal (Sullivan et al., 2009; Ruiz et al., 2011; Cushman et al., 2014; López Valiente et al., 2021a).

El estado nutricional de las vacas en gestación puede condicionar el desarrollo productivo y reproductivo de la descendencia y es más notable cuando se trata de ganadería a cielo abierto (Larson et al., 2009; Funston et al., 2010a). La subnutrición

de vacas en planos nutricionales diferentes no afectó negativamente el peso vivo de sus nietos (Funston et al., 2010a), aunque los efectos que la subnutrición energética provoca sobre la descendencia no están completamente aclarados y la información de los efectos de la subnutrición sobre el desempeño productivo de la descendencia de segunda generación es escasa. La hipótesis de trabajo fue que niveles bajos de energía consumidos (75 % de los requerimientos, en contraste con plano nutricional de 125 % de los requerimientos) en el último tercio de gestación por vacas de cría para carne afectan negativamente el desempeño productivo y reproductivo de las vacas y de la progenie. El objetivo de este experimento fue estudiar la evolución de las reservas energéticas, la producción de leche y la reproducción posparto de las vacas, así como el desempeño productivo y reproductivo de las hijas y las características productivas de los nietos.

3.5. Materiales y métodos

3.5.1. Ubicación y diseño experimental

Todos los procedimientos con animales utilizados en este experimento fueron aprobados por la comisión de experimentación animal de Uruguay (CHEA, 0009/11). Los animales fueron manejados acorde a los protocolos de buenas prácticas de manejo, con personal capacitado y entrenado. El experimento fue realizado en la unidad experimental “Palo a Pique” de INIA Treinta y Tres (Uruguay, 33°S, 56°O). La selección de las 31 vacas multíparas (Aberdeen Angus x Hereford), gestando terneras y cursando su último tercio de gestación utilizadas en este experimento, provenían de un rodeo experimental de 200 vacas inseminadas a tiempo fijo, con semen de toros seleccionados por bajo peso al nacimiento. El diagnóstico de gestación y determinación del sexo de las crías fue realizado el día 116 de gestación por identificación y posicionamiento de genitales (DesCôteaux et al., 2010), y se determinó fecha probable de parto, considerando un largo de gestación estandarizado de 280 días (NRC, 2000). En el día -90 (Día 0 = parto) las vacas fueron asignadas a dos tratamientos contrastantes de energía hasta el parto: alimentadas al 125 % de los requerimientos energéticos de mantenimiento (NRC, 2000) (nivel ALTO; n = 15) y

alimentadas al 75 % de los requerimientos energéticos de mantenimiento (nivel BAJO; n = 16). Las vacas y tratamientos aplicados fueron los mismos utilizados para analizar las variables en el último tercio de gestación y reportadas previamente por nuestro grupo de investigación (Batista et al., 2020). Luego del parto, madres y terneras F1 permanecieron juntas hasta el destete (168 días de edad promedio), en campo natural mejorado (*Lolium multiflorum*, *Axonopus afinis*, *Cinodon dactylon*, *Paspalum notatum*, *Lotus subiflorus* cultivar Rincón), con oferta promedio de biomasa aérea a la entrada al potrero de 3195 kg MS/ha, con altura de pasturas promedio de 11 cm y 51 % de MS, con un nivel de oferta de forraje de 11 kg de MS por cada 100 kg de peso vivo (PV), y promedio de EM (Mcal/kg MS) = 2.28, según valores de tabla (Mieres, 2004). Desde el año de edad y hasta la pubertad, las 31 terneras F1 del experimento pastorearon sobre campo mejorado con *Lotus pedunculatus* cultivar Grassland Maku (39 % del disponible en base fresca), con un promedio de altura del pastizal a la entrada al potrero de 24.2 cm, una oferta promedio de biomasa aérea de 3804 kg MS/ha y 37.7 % de MS, con un nivel de oferta de forraje de 6 kg de MS por cada 100 kg de PV, y un promedio de EM (Mcal/kg MS) = 2.37, según valores de tabla (Mieres, 2004). A los dos años de edad las vaquillonas F1 fueron inseminadas con dos toros seleccionados por bajo peso al nacimiento y se manejaron con todo el rodeo sobre campo natural (similares especies a las mencionadas), con una oferta promedio a la entrada al pastoreo de 2300 kg MS/ha y 32 % MS, con un nivel de oferta de forraje de 6 kg de MS por cada 100 kg de PV, y un promedio de EM (Mcal/kg MS) = 2.04, según valores de tabla (Mieres, 2004).

3.5.2. Alimentación

Previo al comienzo del experimento todas las vacas fueron acostumbradas a consumir concentrado comercial y heno por un período de 20 días. Una vez completado el acostumbramiento, las vacas fueron manejadas durante el período experimental en un corral a cielo abierto con piso de arena, disponiendo de 30 m² por vaca, sin acceso a pastizal natural u otro alimento distinto al ofrecido y con libre acceso al agua. El concentrado comercial con el que fueron alimentadas las vacas contenía 13.5 % de proteína y 2.5 % de extracto al éter, formulado en base a granos de cereal (maíz, sorgo)

y subproductos industriales (afrechillo de arroz y expeler de soja) y se le adicionaron 25 g de amortiguador de pH ruminal en la mezcla (Acid-Buf® Celtic Sea Minerals, Co. Cork, Ireland). Al concentrado se agregó 2 kg/animal/día de heno seco entero como fuente de fibra efectiva (*Lolium perenne* y *Holcus lanatus*). El alimento fue suministrado en módulos de alimentación individual, dos veces al día, siendo verificado el consumo a través del pesaje diario del alimento rechazado. La estimación de la energía contenida en el heno se realizó aplicando la ecuación sugerida por Mene y Steingass (1988), donde la EM (Mcal/kg MS) = 3.50 - (0.035 x FDA %). La estimación de la energía contenida en el alimento concentrado se realizó aplicando la ecuación sugerida por Hach (1987), donde la EM (Mcal/kg MS) = (3.6 x (81.41 - 0.48 x FDA %)) / 100). El concentrado fue ajustado el día -90 según el estado fisiológico y peso vivo promedio de las vacas (NRC, 2000), resultando en 8.0 y 4.8 kg de concentrado por animal y por día (tal cual ofrecido) para nivel ALTO y BAJO, respectivamente. En el día -45, la cantidad de concentrado fue nuevamente ajustada según la evolución del PV promedio, resultando en 9.1 kg y 5.4 kg por animal y por día para nivel ALTO y BAJO, respectivamente. La estimación de la energía neta se realizó aplicando la ecuación sugerida por Pigurina y Methol (2004), donde la ENm (Mcal) = ((1.37 x EM) - (0.138 x EM2) + (0.0105 x EM3) - 1.12). Para balancear los requerimientos de calcio y fósforo se suministró sal comercial *ad libitum* en el corral con 16 % Ca⁺² y 6 % P (Bovifos®, Nutral, Canelones, Uruguay), en saleros comunitarios.

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

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

EN = energía neta, PC = proteína cruda.

3.5.3. Peso vivo y condición corporal

El PV y la condición corporal (CC) de las vacas fue registrada en los días -90, -60, -30, dentro de las primeras 24 horas posparto, el día 14 posparto y luego cada 14 días hasta el destete, siempre a primera hora de la mañana y sin ayuno previo. Para el pesaje de vacas y terneros se utilizó una báscula de dobles barras con lector digital (Tru Test – Eziweigh 7, Nueva Zelanda). La escala de CC utilizada fue de 8 puntos (1: emaciada y 8: obesa; Vizcarra et al., 1986). En las terneras F1 el PV fue registrado dentro de las 8 horas-posnacimiento, cada 14 días hasta el destete y luego cada mes hasta los 17 meses. A partir del PV observado en las terneras y de los intervalos de tiempo en días entre los pesos se estimó la ganancia diaria (GD) de PV. En las vaquillonas F1 el PV fue registrado el día de la inseminación artificial (IA) y al parto, también se registró el largo de gestación y la CC al parto. En los nietos F2 el PV fue registrado dentro de las 24 horas posnacimiento y luego mensualmente hasta el destete, y a partir del PV observado y de los intervalos de tiempo en días entre los pesos se estimó la ganancia diaria (GD) de PV. Los PV al destete de las terneras (F1, F2) fueron también ajustados por PV al nacimiento y días de nacidas.

3.5.4. Producción de leche

La producción de leche fue evaluada en los días 14 y 28 posparto, y luego mensualmente hasta el destete (días 56, 84, 112, 140, 168). La producción de leche se estimó utilizando una máquina de ordeño después de una inyección de oxitocina; el protocolo utilizado fue propuesto por Quintans et al. (2010). En breve, las vacas fueron separadas de los terneros y se inyectó a cada vaca por vía intramuscular 20 UI de oxitocina (Hipofamina, Laboratorio Dispert SA, Montevideo, Uruguay) para facilitar la bajada de la leche. Las vacas se ordeñaron aproximadamente 2 minutos después de la inyección para vaciar de leche a la ubre. Al menos 8 h después, las vacas se ordeñaron nuevamente utilizando el mismo protocolo. Los terneros permanecieron separados de las vacas en otro potrero durante estas horas. En cada ordeño se utilizó

una máquina de ordeño (Ruakura, Nueva Zelanda) que fue retirada luego de cesar el flujo de leche. Posteriormente, la leche del segundo ordeño se pesó y se registró el resultado para calcular la producción de leche de 24 h, asumiendo linealidad.

3.5.5. Ultrasonografía

En las vacas a partir de los 65 días posparto fue realizada ultrasonografía para diagnóstico de actividad ovárica (DAO) (Quintans et al., 2016). Para la realización de la ultrasonografía se utilizó un ecógrafo marca Aloka Echo Camera, modelo SSD-500 (Aloka CO., LTD., Tokyo, Japón) equipado con transductor lineal de 5 MHz. Esta ultrasonografía se realizó en las terneras F1 a partir de los 14 meses de edad (dos cada mes con un intervalo de 10 días) para detectar presencia de cuerpo lúteo y junto a la concentración de progesterona (P4) indicar la pubertad. Desde la pubertad en adelante las F1 fueron consideradas vaquillonas.

3.5.6. Muestras de sangre (AGNE, IGF-1, insulina, progesterona)

Las muestras de sangre de vacas y terneras siempre fueron obtenidas a primera hora (06:00) de la mañana, por venopunción yugular con tubos heparinizados. Posteriormente fueron centrifugadas y el plasma almacenado a -20° C. En las vacas la obtención de muestras de sangre fue realizada los días -90 , -60 , -30 , el día 14 posparto y luego cada 14 días, hasta un mes antes del destete, para determinar la concentración de ácidos grasos no esterificados (AGNE).

En las terneras fueron tomadas muestras de sangre desde el día 14 posnacimiento y cada 14 días hasta el destete, para el análisis de IGF-1 e insulina, y fueron tomadas muestras de sangre desde el año de vida semanalmente hasta los 17 meses de edad, para el análisis de IGF-1 y progesterona (P4). La pubertad en las terneras fue confirmada con el análisis y detección de P4 plasmática. Para la determinación de P4 fueron analizadas 8 muestras sucesivas de plasma separadas por 7 días entre ellas y de las cuales 4 muestras fueron anteriores y 4 posteriores a la fecha del diagnóstico por ultrasonografía que confirmó la presencia del primer CL en cada ternera.

En las vacas, las concentraciones de AGNE se determinaron mediante el método Acetil Co A sintetasa, utilizando reactivo NEFA – HR (2) (Wako Pure Chemical Industries, Richmond VA, EEUU) y todas las muestras fueron incluidas en un único ensayo. El límite analítico de detección fue de 0.01 mmol/L y linealidad de hasta 4 mmol/L, y cuantificado a través de espectrofotometría (Vitalab Selectra 2 auto-analyzer, Vital Scientific, Dieren, The Netherlands).

En las terneras, las concentraciones de IGF-1 se determinaron usando ensayo inmunoradiométrico de un kit comercial (IGF1-RIACT Cis Bio International, GIFSUR-YVETTE CEDEX, France). El límite analítico de detección del ensayo fue 0.23 ng/mL. Los coeficientes de variación intraensayo para el control 1 (41 ng/mL) y el control 2 (528 ng/mL) fueron 7.71 % y 9.14 % respectivamente. Los coeficientes de variación interensayo para los mismos controles fueron 11.14 % y 14.37 % respectivamente. Las concentraciones de insulina se determinaron utilizando ensayo inmunoradiométrico de un kit comercial (DIAsource Immuno Assays S.A, Nivelles, Bélgica). El límite analítico de detección del ensayo fue 2.87 μ UI/mL. El coeficiente de variación intraensayo para el control 1 (16.2 μ UI/mL) y el control 2 (61.2 μ UI/mL) fueron 6.22 % y 7.33 %, respectivamente. El coeficiente de variación interensayo para los mismos controles fueron 6.66 % y 8.75 % respectivamente. La concentración de P4 en plasma fue analizada y determinada mediante radioinmunoensayo en fase sólida, utilizando kits MP (MP BIOMEDICALS, INC. Solon, OH, USA). El límite analítico de detección del ensayo fue 0.02 ng/mL; los coeficientes de variación intraensayo para el control 1 (0.6 ng/mL) y el control 2 (5.2 ng/mL) fueron 6.7 % y 6.1 %, respectivamente. Los coeficientes de variación interensayo para los mismos controles fueron 9.3 % y 6.5 %, respectivamente. Cuando la concentración de P4 fue de 1 ng/ml se consideró indicador de cuerpo lúteo funcional. La concentración de AGNE y hormonas se determinó en el Laboratorio de Endocrinología y Metabolismo Animal de la Facultad de Veterinaria, Montevideo, Uruguay.

3.5.7. Análisis estadístico

Las variables analizadas en las terneras se modelaron incluyendo como efecto fijo el tratamiento y la madre, y como aleatorios al padre y biotipo de la vaca. El PV, GD, CC, concentración de metabolito, hormonas y la producción de leche fueron analizados como medidas repetidas, utilizando modelo lineal mixto con tiempo como el efecto repetido y regresivo de primer orden. La comparación de medias fue realizada con test de Tukey. En las terneras, la variable ganancia diaria (GD) de PV y PV al destete fue ajustada por días de nacidas (168 días) y por el PV al nacimiento. Las variables con la información reproductiva se analizaron utilizando el procedimiento para modelos lineales generalizados mixtos (GLIMMIX) del paquete estadístico SAS. En las variables con distribución binomial (proporción de anestro o preñez) la función de enlace fue Logit y para las variables con distribución de Poisson (parto-concepción) la función de enlace fue Log. En la variable intervalo parto-concepción de las vacas que no se preñaron los datos fueron censurados, es decir, al período de tiempo desde el parto a final del servicio (81 días) se le agregó el período correspondiente a un ciclo estral (21 días) asumiendo el 100 % de vacas preñadas un ciclo después de retirados los toros. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el programa SAS 9.4 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA). Los valores son presentados como media \pm error estándar (EE), las diferencias se consideraron significativas cuando el $P \leq 0.05$.

3.6. Resultados

En las vacas de los tratamientos ALTO y BAJO no se verificó alimento rechazado después de suministrar lo ofrecido individualmente, por lo que asumimos que el consumo fue igual a la oferta.

3.6.1. Desempeño productivo, reproductivo y concentración de AGNE de las madres

Los partos ocurrieron desde el 14 hasta el 29 de setiembre. Las vacas en nivel ALTO y BAJO experimentaron evoluciones de PV y CC diferentes desde el comienzo de los tratamientos, hasta las primeras 24 horas posparto (452 ± 11.9 kg para ALTO y 414 ± 15.1 kg para BAJO, $P < 0.05$, y 4.3 ± 0.06 unidades de CC para ALTO y 3.8 ± 0.07

unidades de CC para BAJO, $P < 0.01$), verificando la efectividad de los tratamientos nutricionales aplicados. El PV a los 14 días posparto tendió a ser diferente (459.18 ± 11.9 kg para ALTO y 429.2 ± 15.1 kg para BAJO, $P < 0.09$). Para el período de lactancia el PV de las vacas fue 467 ± 11 kg para ALTO y 447 ± 14 kg para BAJO ($P = 0.22$) y no hubo efecto de la interacción tratamiento x tiempo sobre la variable en el mismo período ($P=0.13$) (Figura 1). En cambio, la CC para el período de lactancia fue diferente entre tratamientos (4.2 ± 0.04 para ALTO y 3.9 ± 0.05 para BAJO, $P < 0.01$) y hubo efecto de la interacción tratamiento x tiempo sobre la CC ($P < 0.01$) (Figura 1). En el posparto temprano, la concentración de AGNE fue mayor en las vacas del tratamiento BAJO respecto a las de ALTO y hubo efecto de la interacción tratamiento x tiempo sobre la concentración de AGNE (0.41 ± 0.01 mmol/L para ALTO vs 0.37 ± 0.01 mmol/L para BAJO ($P < 0.05$) (Figura 1). Respecto a la producción de leche, ésta no fue diferente entre tratamientos (7.5 ± 0.3 kg para ALTO y 7.7 ± 0.3 para BAJO, $P = 0.59$) y no hubo efecto de la interacción tratamiento tiempo sobre la variable ($P = 0.76$) (Figura 1).

El intervalo parto-concepción en las vacas, fue diferente entre tratamientos (102 ± 2.6 días para ALTO y 124 ± 2.7 días para BAJO, $P < 0.01$) y la preñez no fue diferente entre los tratamientos (100 % para ALTO (15 de 15 vacas) vs 69 % (11 de 16 vacas) para BAJO, $P = 0.97$).

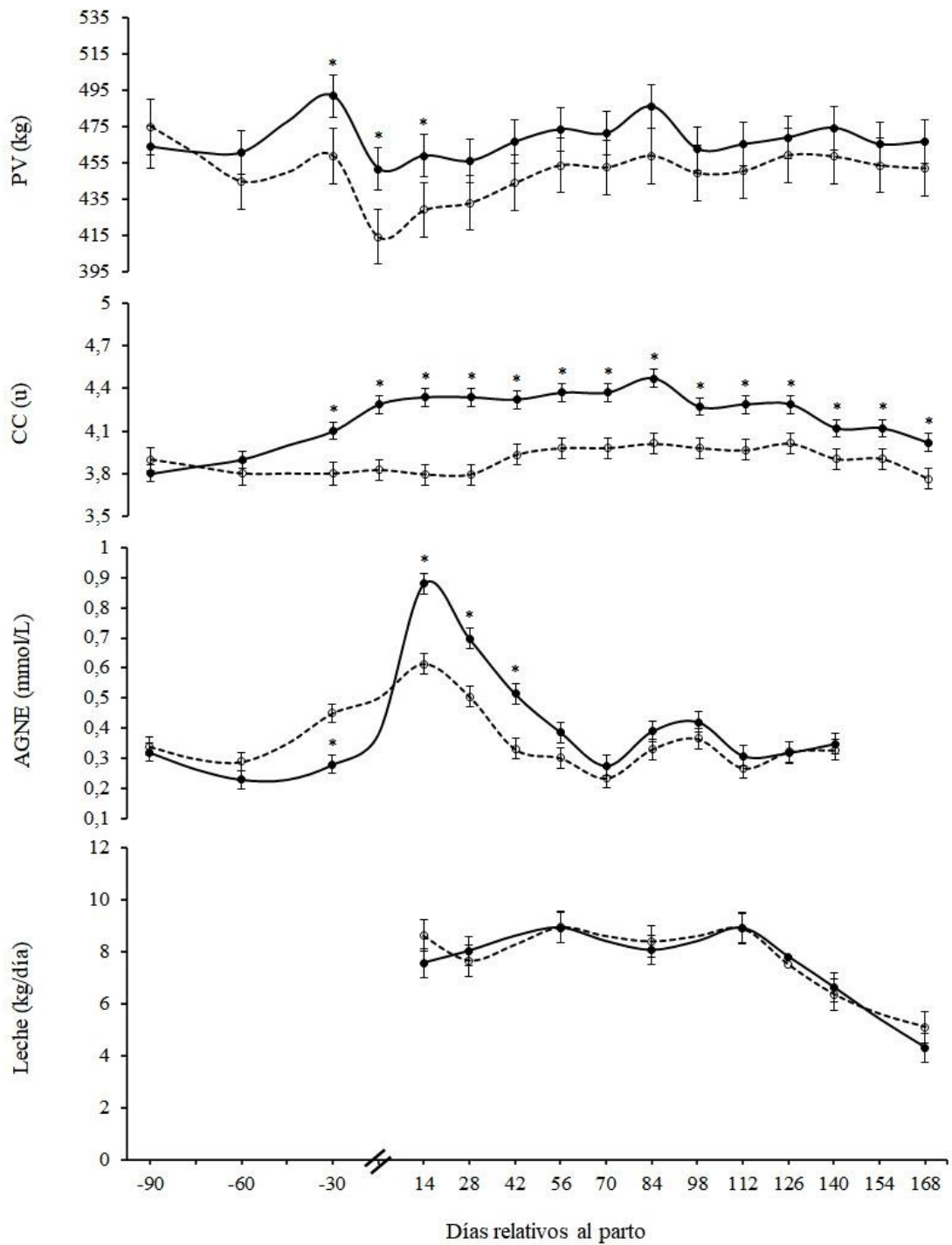


Figura 1. Evolución del peso vivo (PV), condición corporal (CC) y ácidos grasos no esterificados (AGNE) (media \pm EE) de las vacas desde el comienzo de los tratamientos (vacas con útero grávido), hasta el destete (día 168) y producción de leche (media \pm EE) desde el posparto, hasta el destete. Tratamiento ALTO (línea continua) y BAJO

(línea punteada). // indica parición. * indica diferencia significativa entre tratamientos para esa fecha ($P \leq 0.05$).

3.6.2. Desempeño productivo, perfiles hormonales y reproducción de las hijas F1

El tratamiento nutricional de las vacas durante el último tercio de gestación no afectó el PV de las terneras al nacimiento ($P = 0.33$). La interacción tratamiento x tiempo afectó el PV al destete de las terneras ($P < 0.05$). Las terneras hijas de vacas del tratamiento ALTO fueron más pesadas al destete que las terneras de BAJO ($P < 0.05$) cuando el PV fue ajustado por los días de nacidas (Tabla 2). También la GD de peso vivo hasta destete fue mayor en las terneras hijas de vacas de ALTO respecto a terneras de BAJO ($P < 0.05$). En cambio, no hubo efecto de los tratamientos sobre la GD de peso vivo desde el destete a la pubertad ($P = 0.52$), así como en el PV en pubertad ($P = 0.10$) (Tabla 2).

Tabla 2. Peso vivo, ganancia diaria de peso vivo y edad de pubertad (media \pm EE) de las terneras hijas F1 de vacas que estuvieron en ALTO y BAJO plano nutricional, en el último tercio de gestación.

Variable	ALTO (n = 15)	BAJO (n = 16)	P – valor
PV (kg) nacimiento	33.7 \pm 2.5	32.5 \pm 2.4	0.33
PV (kg) destete	201.2 \pm 3.7	188.1 \pm 4.1	< 0.05
GD (kg/día) nacimiento – destete	0.90 \pm 0.02	0.84 \pm 0.02	< 0.05
PV (kg) pubertad	331.0 \pm 8.5	318.1 \pm 8.7	0.10
GD (kg/día) destete – pubertad	0.46 \pm 0.01	0.45 \pm 0.01	0.52
Edad pubertad (días)	450.0 \pm 4.0	456.0 \pm 4.0	0.26

ALTO = alta energía, BAJO = baja energía, PV = peso vivo, GD = ganancia diaria de PV.

En el período nacimiento destete, el tiempo afectó la concentración de IGF-1 de las terneras hijas de los tratamientos ALTO y BAJO (243 \pm 18 ng/mL al inicio del período vs 178 \pm 18 ng/mL en el destete ($P < 0.05$). En el mismo período hubo efecto del tiempo sobre la concentración de insulina de las terneras hijas de los tratamientos ALTO y BAJO (35 \pm 3 uIU/mL al inicio del período vs 23 \pm 3 uIU/mL en el destete

($P < 0.05$) (Figura 2). En cambio, no hubo efecto de los tratamientos nutricionales de las vacas sobre la concentración de IGF-1 de las terneras en el período analizado (218 ± 18 ng/mL para ALTO vs 213 ± 18 ng/mL para BAJO, $P = 0.76$), ni hubo efecto de la interacción tratamiento x tiempo sobre la concentración de la variable ($P = 0.85$). Además, no hubo efecto de los tratamientos nutricionales de las vacas sobre la concentración de insulina de las terneras en el mismo período (22 ± 1.6 uIU/mL para ALTO vs 23 ± 1.7 uIU/mL para BAJO, $P = 0.46$), ni tampoco hubo efecto de la interacción tratamiento x tiempo sobre la concentración de la variable ($P = 0.53$) (Figura 2).

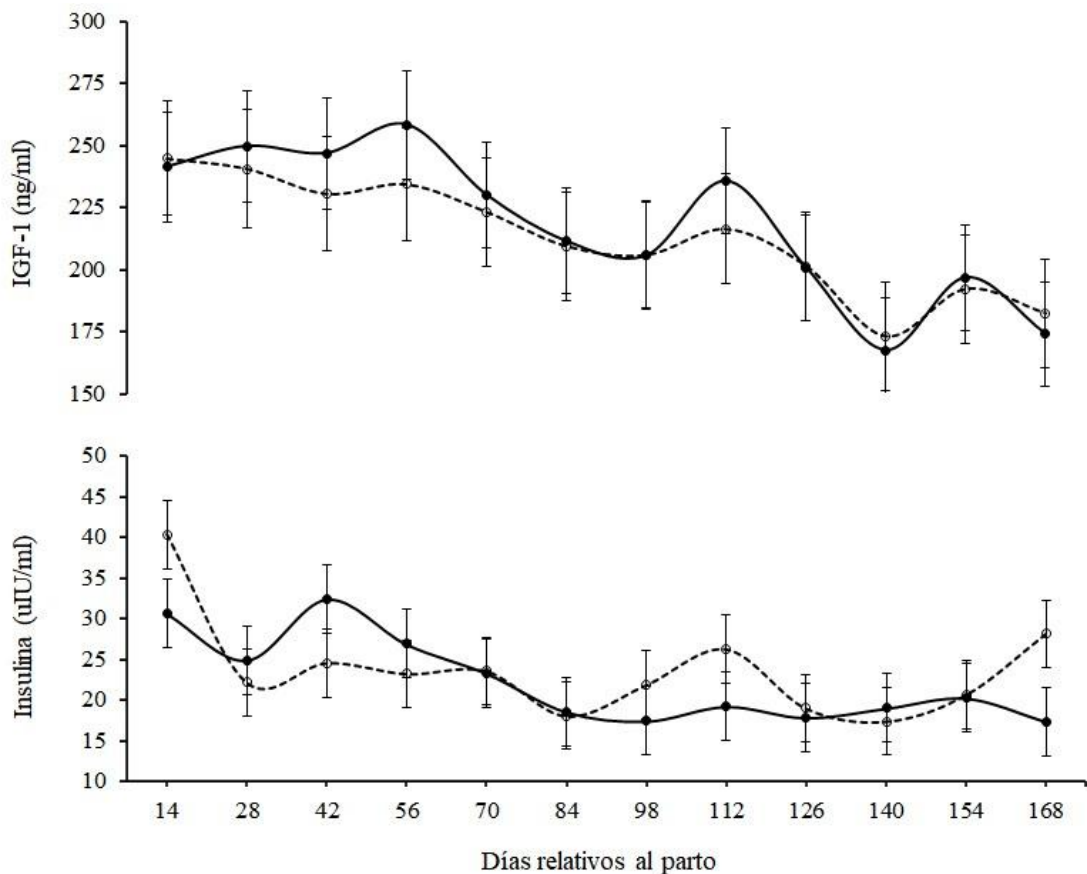


Figura 2. Evolución de las concentraciones plasmáticas de IGF-1 e insulina (media \pm EE) de las terneras hijas F1 de vacas de los tratamientos ALTO (línea continua) y BAJO (línea punteada), desde los 14 días posnacimiento hasta el destete (día 168).

Para el período de 12 a 17 meses de edad hubo efecto del tiempo en la concentración de IGF-1 de las terneras hijas de los tratamientos ALTO y BAJO (224 ± 11 ng/mL al inicio del período vs 156 ± 11 ng/mL a los 17 meses, $P < 0.05$). Pero la concentración de IGF-1 de las terneras en el período analizado no fue diferente entre tratamientos (188 ± 7 ng/mL para ALTO vs 182 ± 7 ng/mL para BAJO, $P = 0.62$), ni hubo efecto de la interacción tratamiento x tiempo sobre la variable ($P = 0.85$).

La edad a la pubertad de las vaquillonas no fue afectada por los tratamientos nutricionales de sus madres y fue en promedio de 453 ± 4 días ($P = 0.26$) (Tabla 2). En la etapa de vaquillonas, el PV a la IA ($P = 0.13$) y el PV al parto ($P = 0.17$) no fueron afectados por el tratamiento nutricional de sus madres en el último tercio de gestación. Mientras que la CC al parto de las vaquillonas hijas de vacas del tratamiento ALTO tendió a ser más alto ($P = 0.06$) que en vaquillonas de BAJO (Tabla 3). El porcentaje de preñez y el largo de gestación de las vaquillonas no fueron afectados por los tratamientos nutricionales de sus madres (Tabla 3).

Tabla 3. Desempeño productivo y reproductivo de las vaquillonas hijas F1 de vacas de los tratamientos ALTO y BAJO.

Variable	ALTO	BAJO	P-valor
PV a la IA (kg)	406.4 ± 7.7	389.7 ± 7.5	0.13
Preñez (%)	73 % (11/15)	94 % (15/16)	0.16
Largo de Gestación (días)	280.5 ± 1.6	278.5 ± 1.4	0.37
PV al parto (kg)	459.0 ± 9.5	441.6 ± 8.2	0.17
CC parto	4.6 ± 0.08	4.4 ± 0.07	0.06

PV=peso vivo, CC=condición corporal, IA=Inseminación artificial.

3.6.3. Crecimiento (nacimiento-destete) de los terneros nietos F2

Respecto a los nietos, el PV al nacimiento no fue afectado por los tratamientos nutricionales contrastantes en el último tercio de gestación de sus abuelas (34.7 ± 1.7 kg para ALTO vs 33.8 ± 1.2 kg para BAJO, $P = 0.68$). Tampoco hubo efecto de los tratamientos nutricionales sobre la ganancia diaria de PV hasta el destete (0.85 ± 0.04

kg para ALTO y 0.91 ± 0.04 kg para BAJO, $P = 0.36$), ni hubo efecto sobre el PVD (213 ± 10.9 kg para ALTO y 218 ± 7.3 kg para BAJO, $P = 0.76$).

3.7 Discusión

La restricción nutricional (75 % de los requerimientos) asignada a las vacas durante el último tercio de gestación fue efectiva en generar diferencias en la CC, PV y en el intervalo parto concepción de las madres, aunque sin manifestar efectos claros sobre el desempeño productivo y reproductivo de la descendencia. La evolución de la CC de las vacas fue diferente entre tratamientos en la gestación y se mantuvo en la lactación. Durante la aplicación de los tratamientos, las vacas de nivel ALTO tuvieron aumento de medio punto de CC, diferencia que se mantuvo hasta el parto y fueron más pesadas respecto a las vacas de nivel BAJO. La severidad de la subnutrición en las vacas de nivel BAJO y la CC, inicial pudieron provocar una movilización diferencial de reservas corporales en respuesta a la demanda de energía, reflejado en el aumento en la concentración de AGNE, observada hacia el final de la gestación. Las variables registradas desde el comienzo de los tratamientos hasta el parto ya fueron reportadas y discutidas en el marco de los mismos estudios (Batista et al., 2020).

Durante la lactación la movilización de las reservas corporales se evidenció con un incremento en la concentración de AGNE y podría ser explicada por la lactogénesis. Durante la lactación temprana la concentración de AGNE fue superior en vacas de nivel ALTO, respecto a las de BAJO, ligado a un mejor estado de reserva corporal y mayor PV preparto. En efecto, el nivel alimenticio preparto (125 % de los requerimientos) permitió a las vacas de nivel ALTO movilizar más reserva corporal durante los primeros 50 días posparto (pico a los 14 días), posiblemente para mantener un mejor equilibrio energético (Meikle et al., 2005; Cavestany et al., 2009; Quintans et al., 2015). En cambio, las vacas de nivel BAJO presentaron en el posparto una media de CC similar al preparto y continuaron movilizando reservas corporales con un pico a los 14 días, reflejado en la concentración de AGNE levemente superior respecto al preparto. La síntesis y producción de leche requiere gran cantidad de energía, que es obtenida a partir del aporte del alimento y de la movilización de reserva corporal (Short

et al., 1990; Larson et al., 2009). Vacas que llegaron al parto con una CC cercana a 4 unidades o menos, tuvieron menor producción de leche con respecto a las vacas que presentaban un punto o más de CC (Quintans et al., 2010). Sin embargo, en el presente trabajo la CC promedio fue de 4 unidades, los niveles de energía aplicados no alteraron la producción de leche y la cantidad media obtenida estuvo en concordancia con lo reportado en sistemas de producción similares (7,09 kg/día, Iewdiukow et al., 2020). La producción de leche similar entre los tratamientos de este trabajo concuerda con otros reportes (López Valiente et al., 2019; López Valiente et al., 2021a). En el presente trabajo, el parto y la primera mitad de la lactancia transcurrieron en primavera y todas las vacas fueron manejadas en las mismas condiciones de pastoreo, sin restricción en la asignación. Los tratamientos nutricionales preparto, CC y la alimentación posparto de las vacas, no afectaron de forma evidente a la producción de leche.

En las vacas del tratamiento BAJO se alargó el intervalo parto-concepción, indicando que el nivel de energía preparto consumido generó menor disponibilidad de energía para la reproducción (Randel, 1990, Short et al., 1990). El efecto de las reservas de energía corporal y la nutrición sobre la función reproductiva han sido ampliamente reportadas (Randel, 1990; Short et al., 1990; Wettemann et al., 2000; Hess et al., 2005), manifestado en este trabajo con el aumento del intervalo de tiempo parto-concepción de las vacas de nivel BAJO. En tanto, la tasa de preñez no fue afectada por los tratamientos, aunque en el presente trabajo el número de vacas utilizadas fue bajo para esta variable. Las vacas en nivel BAJO en energía en el último tercio de gestación, comprometieron el estatus metabólico medido a través de la condición corporal y AGNE en la lactación, priorizando la producción de leche en detrimento de las demandas reproductivas, lo cual está ampliamente documentado (Short et al., 1990; Hess et al., 2005; Chagas et al., 2006; Quintans et al., 2009).

El nivel nutricional bajo en energía aplicado en el último tercio de gestación no provocó diferencias en el PV al nacimiento de las terneras F1. Considerando que el mayor crecimiento prenatal se produce en el último tercio de gestación y que no existió diferencia en el PV al nacimiento, podemos interpretar que el nivel nutricional bajo en

energía aplicado en nuestro trabajo no fue suficientemente severo para generar una disminución en el PV al nacimiento de las terneras. Como fue mencionado, la adecuada CC y la movilización de las reservas corporales pudieron ofrecer un adecuado ambiente uterino con suficiente disponibilidad de nutrientes para el desarrollo de las terneras (Batista et al., 2020). Este hallazgo concuerda con previos reportes, aunque para el efecto de la subnutrición materna sobre los terneros nacidos en otoño (McLean et al., 2018). Además, hay que considerar la inversión materna de recursos para el feto hembra ante el escenario nutricional desafiante, esto en función de su actividad como futura reproductora representando un “inversión segura” para la perpetuación de la especie (Barcelos et al., 2022). Sin embargo, es necesaria más investigación con un diseño similar al de este trabajo, con una subnutrición más severa de energía materna y comparar la respuesta de la descendencia femenina y masculina.

El PV al nacimiento está correlacionado positivamente con el crecimiento hasta el destete (Greenwood et al., 2010), así como la producción de leche también influencia el PV al destete, modulando la tasa de crecimiento (Totusek et al., 1973; Reynolds et al., 1978; McLean et al., 2018). Además, las ganancias de PV y el PV en la lactancia temprana tienen correlación positiva con la concentración sérica de IGF-1 (Breier et al., 2000). En nuestro trabajo la ganancia diaria de PV del período nacimiento a destete, así como el PV en el destete, fueron más bajos en terneras hijas de vacas del tratamiento BAJO respecto a las de ALTO. En tratamientos nutricionales contrastantes al final de la gestación, la producción de leche no fue correlacionada con la ganancia de peso y el PV al destete de la descendencia (Corah et al., 1975; Larson et al., 2009). En el presente trabajo la producción de leche no fue distinta entre tratamientos y hubo un 6 % de diferencia en la ganancia media diaria estimada de las terneras al pie de la madre en el nivel ALTO, en analogía con reportes recientes (Noya et al., 2019b; López Valiente et al., 2021a). Podríamos hipotetizar que, o las terneras de vacas del tratamiento BAJO cosecharon menos leche, ya que la metodología de ordeño utilizada estima únicamente la cantidad producida, o no aprovecharon la leche consumida. En el presente trabajo no fue evidente una mejor utilización del alimento, reflejado en la menor ganancia de PV en las terneras de BAJO al destete. Por el contrario, se ha

reportado que la subnutrición preparto (20 a 30 % de los requerimientos) mejoraría la eficiencia digestiva y metabólica de la descendencia durante la lactación temprana (Funston et al., 2010b; Hardy, 2017; McLean et al., 2018), con mecanismos de ahorro que compensan el crecimiento y disminuyendo la concentración de IGF-1 (López-Valiente et al., 2021a,b).

El menor aumento de peso al destete de las hijas de las vacas de nivel BAJO puede ser una consecuencia del retraso del crecimiento uterino (Greenwood and Cafe, 2007), mediados por alteraciones en el eje IGF. Se ha indicado que la subnutrición durante la etapa fetal puede comprometer la función y metabolismo hepático y expresar el efecto en la lactancia (Hardy, 2017), conduciendo a la disminución de la producción y concentración sérica de indicadores del estado metabólico y nutricional como la IGF-1 (León et al., 2004). Los elevados niveles de IGF-1 en la lactación temprana representan la madurez del eje somato-trófico (Breier et al., 2000) y responden a la ingesta de alimento y/o al estado nutricional, ya que se sintetiza en el hígado por estímulo de la hormona de crecimiento en respuesta a la insulina (León et al., 2004; Rhind et al., 2004). En cambio, la disminución de IGF-1 en la descendencia durante la lactancia fue asociada con la menor producción de leche de las vacas y con menor tasa de crecimiento de las terneras (López Valiente et al., 2021a). En el presente trabajo, las concentraciones de hormonas metabólicas de las terneras durante la lactancia, acompañaron la producción de leche de las madres. La concentración de IGF-1 no fue diferente entre terneras de ALTO y BAJO, y fueron elevadas desde el comienzo hasta la mitad de la lactación, al igual que los de insulina, y desde la mitad de la lactancia disminuyeron hasta el destete, en concordancia con reportes recientes del equipo de trabajo (López Valiente et al., 2021b). Desde la mitad de la lactación al destete los niveles de IGF-1 decrecen, en paralelo a la disminución de la ingesta teórica de leche por la disminución de la producción láctea, y por el pastoreo de especies estivales de baja calidad del campo natural. Las diferencias en las tasas de ganancia de PV y en el PV al destete de las terneras hijas del nivel BAJO y ALTO podría explicarse por una respuesta diferencial del metabolismo en función de la plasticidad hepática (Hardy, 2017), afectada por los niveles de energía en el último tercio de gestación.

Paralelamente, los efectos de los estímulos nutricionales en la gestación y en la lactación sobre el crecimiento de las terneras son acumulativos, pudiendo mezclarse los efectos nutricionales específicos recibidos durante la gestación con los posnatales (Greenwood et al., 2010). El consumo de leche es el principal factor que determina el crecimiento hasta los 2 meses de edad (Cafe et al., 2006) y desde los 90 días de vida en adelante el desarrollo del sistema digestivo permite a la ternera comportarse como un rumiante funcional, disminuyendo su dependencia nutricional de la leche (Relling y Mattioli, 2003). Durante la lactación, la morfología y/o funcionalidad del sistema digestivo deben ser adecuadas para una eficiente utilización de nutrientes y no afectar negativamente la ganancia diaria de peso y el PV de los terneros (Greenwood and Cafe, 2007; Noya et al., 2019a). En el presente trabajo podría haber un efecto a largo plazo de los tratamientos nutricionales durante el período fetal sobre la madurez y/o eficiencia digestiva en la etapa de rumiante funcional, que provocaron diferencias en las ganancias de peso vivo hasta el destete. Esto último podría ocurrir en las terneras hijas del tratamiento BAJO que tuvieron menor ganancia de peso y menor PV al destete y similar respuesta de hormonas metabólicas respecto a las de ALTO. Las diferencias podrían responder a una funcionalidad hepática distinta avanzada la lactación, a la alimentación en la etapa de rumiante funcional y al estrés del crecimiento que alterarían la expresión génica hepática, afectando negativamente el metabolismo y el desarrollo (Hardy, 2017). Es necesaria más investigación que permita elucidar el efecto de la restricción de energía en el último tercio de gestación sobre las características del sistema digestivo y su impacto en las ganancias de PV y en el PV de las terneras.

El tratamiento nutricional bajo en energía aplicado en el último tercio de gestación no provocó diferencias apreciables en la ganancia diaria de PV, en el PV de las terneras F1 desde el destete a la pubertad y en la edad a la pubertad. Resultados similares fueron reportados para el período destete a pubertad en la progenie de vacas subnutridas en el último tercio de gestación (Corah et al., 1975; Larson et al., 2009; Funston et al., 2010a; Shoup et al., 2017). La pubertad en las condiciones de nuestros sistemas de producción y su aparición medida a través del DAO y determinación de progesterona,

está relacionada con la edad cronológica y más fuertemente con el estado de desarrollo, el PV y una adecuada reserva de energía (Quintans et al., 2008). En nuestro trabajo las terneras llegaron a la pubertad habiendo alcanzado entre el 65 % y 70 % del PV de adultas (Goldberg and Ravagnolo, 2015). Resultados similares fueron reportados por Noya et al. (2019a). La ganancia diaria de PV de las terneras no fue diferente en el período destete a pubertad. Podríamos hipotetizar que las terneras de BAJO compensaron su crecimiento en el período destete a pubertad, siendo más eficientes en el uso del alimento para convertirlo en PV respecto de la lactación y a las terneras de ALTO, enmarcando el efecto en la hipótesis del fenotipo ahorrativo (Hales y Barker, 2001). En efecto, ha sido indicado que vacas gestantes subnutridas produjeron terneros más eficientes en la utilización del alimento en PV respecto de los no restringidos (Tudor et al., 1980). Sin embargo, estos últimos investigadores realimentaron los terneros en el período nacimiento-destete pudiendo confundirse los efectos nutricionales preparto con los de lactación. El crecimiento compensatorio fue reportado durante el primer mes de lactación en terneras hijas de vacas con subnutrición moderada en el último tercio de gestación (López Valiente et al., 2021a) y también fue reportado en la recría de machos hijos de vacas con subnutrición moderada durante el primer tercio de gestación (Noya et al., 2022). Se ha establecido que la capacidad de crecimiento compensatorio disminuye cuando más temprano en la gestación se inicia la restricción nutricional (Greenwood and Cafe, 2007). En el presente trabajo la restricción fue moderada y realizada en el último tercio de gestación. Es necesaria más investigación respecto del efecto de restricciones de energía más severas en vacas maduras en el último tercio de gestación, sobre la ganancia diaria de PV, el PV de las terneras F1 desde el destete a la pubertad y la edad a la pubertad.

Por otra parte, la maduración del sistema metabólico y endócrino se ha asociado a los cambios de dieta (Greenwood and Cafe, 2007); en nuestro trabajo a partir del destete las terneras F1 se alimentaron exclusivamente de pasturas. El perfil de la hormona IGF-1 se evalúa como indicador del estado metabólico y de reserva nutricional, y elevadas concentraciones prepuberales se han asociado con edades de pubertad

temprana (Rhind et al., 2004; Sullivan et al., 2009; Ruiz et al., 2011; McLean et al., 2018). Las terneras de ALTO y BAJO tuvieron una oferta de 6 kg de MS en la recría, aunque el consumo no fue medido, la concentración de IGF-1 no fue diferente entre tratamientos, pudiendo indicar como se menciona anteriormente, que las terneras de BAJO estarían compensando su crecimiento. Concentraciones similares de IGF-1 entre tratamientos, relacionado con la aparición de crecimiento compensatorio en la recría, fue reportada en terneras y terneros hijos de vacas subnutridas en energía en la gestación temprana y tardía (López Valiente et al., 2021a; Noya et al., 2022). En otros reportes los tratamientos aplicados a las madres no afectaron la concentración de IGF-1, la ganancia diaria de peso y el PV, posiblemente debido al momento, al tipo de restricción implementado y a la edad de desarrollo de las terneras utilizadas (Mac Donald et al., 2005; Sullivan et al., 2009; Funston et al., 2010a; Cushman et al., 2014; Shoup et al., 2017). En conclusión, no hubo efecto de la nutrición en el último tercio de gestación de las madres sobre la precocidad sexual de las terneras. El posible crecimiento compensatorio posdestete mitigó las diferencias en las ganancias diarias de PV de las terneras al pie de la madre y no se afectó el PV, IGF-1 y tampoco edad de la pubertad.

Las variables reproductivas de las vacas hijas F1 no fueron afectadas por la restricción de energía nutricional en el último tercio de gestación de sus madres. Restricciones nutricionales de energía del 25 % en vacas durante el segundo y último tercio de gestación no afectaron el desempeño reproductivo de la descendencia (Cushman et al., 2014). El desarrollo de las estructuras involucradas y vinculadas en la reproducción (aparato reproductor, hipotálamo e hipófisis) ocurre en el primer y segundo tercio de gestación (Funston et al., 2010b; Greenwood et al., 2010). En vaquillonas con restricciones de energía del orden del 30 % en el primer y segundo tercio de gestación, vieron afectadas negativamente las características reproductivas, infiriendo que el desarrollo reproductivo pudo ser afectado por la nutrición prenatal, desde la etapa gestacional temprana hasta mitad de la misma (Sullivan et al., 2009; Cushman et al., 2014). Sin embargo, recientemente se reportó que restricciones de energía del 35 % durante el primer trimestre de gestación no perjudicó la tasa de preñez de la

descendencia (Noya et al., 2019a). En el presente trabajo las vacas F1 llegaron a la pubertad con más del 65 % del PV adulto, lo cual se podría asociar con adecuado desarrollo. Los tratamientos aplicados en el último tercio de gestación en vacas maduras no generaron efecto alguno sobre las características reproductivas evaluadas en la progenie F1.

El PV y la CC de las vacas hijas F1 con la cual llegaron al parto no fue diferente entre tratamiento. En nuestro trabajo, desde el período reproductivo todas las vacas F1 se manejaron juntas pastoreando con la misma oferta en campo natural hasta el parto. En el último tercio de gestación el crecimiento fetal es acelerado y los cambios nutricionales en este período pueden afectar negativamente el sitio de deposición de nutrientes de la descendencia, enmarcando el efecto en la programación fetal (Barker et al., 1997; Funston et al., 2010b; Khanal and Mette, 2017). Se ha reportado que la restricción de nutrientes maternos durante la gestación media o tardía produjo niveles circulantes alterados de IGF-1 asociados con cambios en el desarrollo del tejido adiposo de terneras, pero en la lactancia temprana (Maresca et al., 2018). En otros trabajos no se reportó una diferencia o tendencia en la CC al parto en vacas F1 hijas de madres subnutridas, asumiendo que fueron más eficientes utilizando el alimento respecto de las bien nutridas (Funston et al., 2010a; Cushman et al., 2014;). Además, la madurez física de las vacas para carne utilizadas en este trabajo se alcanza después de los 5 años de edad (Goldberg and Ravagnolo, 2015). Consecuentemente, en las vacas hijas F1 los requerimientos de energía son más altos respecto a vacas maduras y por lo tanto, una baja reserva corporal preparto induce a mayor duración del anestro posparto y aumento del intervalo parto concepción (Short et al., 1990; Hess et al., 2005; Chagas et al., 2006; Quintans et al., 2009). La restricción de energía aplicada a las vacas del tratamiento BAJO no afectó las características reproductivas al primer servicio de la progenie F1.

La subnutrición energética de vacas de cría para carne en el último tercio de gestación no afectó el PV al nacimiento, la ganancia diaria de PV y el PV al destete de los nietos F2. Estos resultados están en línea con trabajos recientes respecto a la descendencia de vacas con subnutrición en el primer tercio de gestación (Noya et al., 2019a). La escasa

información del efecto de la subnutrición energética de vacas de cría para carne en el último tercio de gestación sobre las variables productivas en la segunda generación, es coincidente con los resultados del presente trabajo (Cushman et al., 2014). Funston et al. (2010a) no observaron efecto negativo sobre el PV al nacimiento y el PV al destete de terneros F2 nietos de vacas en planos nutricionales contrastantes. En ovinos (Kenyon and Blair, 2014) y humanos (Rajendran et al., 2017; Paro et al., 2021). el efecto negativo de una nutrición deficiente entre generaciones distintas (abuelas vs nietos) está relacionado con niveles de subnutrición energética más severos y en etapas más tempranas de la gestación a la utilizada en el presente trabajo.

En el presente trabajo el nivel bajo de energía consumido en el transcurso del último tercio de gestación provocó la movilización de energía, medido a través de la concentración en sangre de AGNE, que habría sido suficiente para cubrir las demandas nutricionales del par vaca ternera. La información relevada evidenciaría una capacidad de adaptación al estrés nutricional de las vacas gestantes, propiciando un ambiente favorable para el crecimiento y desarrollo de su progenie, en detrimento de su propia capacidad de volver a reproducirse. Sin embargo, reportes recientes indican que la programación fetal también puede causar cambios en los órganos internos, el metabolismo y los sistemas endocrinos de la descendencia a muy largo plazo (Wethes, 2022). Resta responder si, en vacas gestantes de razas británicas, la capacidad de adaptación a la subnutrición in utero, así como la redirección de recursos para el feto, podría ocurrir ante niveles de subnutrición energética más severa al final de la gestación y tener un efecto a más largo plazo que el observado en este trabajo. Finalmente, las terneras F1 provenientes de una restricción nutricional en útero, alcanzaron la etapa reproductiva sin diferencia respecto a las terneras provenientes de un nivel alto de alimentación, pudiéndose hipotetizar la manifestación de un crecimiento compensatorio.

3.8. Conclusión

El efecto del balance energético negativo previo al parto afectó negativamente el intervalo parto-concepción de las vacas, sin comprometer la producción de leche. La

movilización de reserva corporal pre y posparto en las vacas del tratamiento BAJO fue suficiente para no comprometer la producción de leche, evidenciando resiliencia ante el desafío de la restricción nutricional. La adaptación anterior podría ser similar en sistemas de cría en campo nativo, en los cuales el último tercio de gestación ocurre en inviernos con similares restricciones de energía. No hubo efecto evidente en los parámetros de crecimiento ni desarrollo de los animales cuyas madres y abuelas fueron restringidas a un 75% de sus requerimientos energéticos durante el último tercio de gestación. Se necesita seguir produciendo información respecto de los efectos de restricciones de energía nutricional más severas de vacas durante el último tercio de gestación sobre el desempeño productivo y reproductivo de la progenie.

Conflicto de intereses

No hay ningún conflicto de intereses que declarar.

Financiamiento

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) de Uruguay.

Contribución de los Autores

La contribución de los autores fue la siguiente:

Carlos Batista; diseño experimental, metodología, desarrollo de la investigación, análisis estadístico y redacción del manuscrito. José Velazco; diseño experimental, metodología, revisión del manuscrito. Graciela Quintans; diseño experimental, metodología, revisión del manuscrito.

3.9. Literatura citada

Barker, M., S. Robinson, C. Osmond, D. J. Barker. 1997. Birth weight and body fat distribution in adolescent girls. *Arch Dis Child.* 77:381–3. doi.org/10.1136/adc.77.5.381.

Barcelos, S.S., K.N. Batista, T.E. da Silva, R. Mezzomo, K.A. Souza, M.D. de Souza Duarte and M.G. Pies. 2022. The effects of prenatal diet on calf performance and perspectives for fetal programming studies: A meta-analytical investigation. *Animals.* 12, 2145: 1 – 21. <https://doi.org/10.3390/ani12162145>.

- Batista, C., J. I. Velazco, F. Baldi, G. Banchero, G. Quintans. 2020. Efecto de dos niveles de energía en la dieta durante el último tercio de gestación de vacas para carne sobre características de la placenta y la descendencia al nacimiento. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 28 (1-2): 9-18. https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2781
- Bell, A. W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science* 73: 2804–2819.
- Bermúdez, R., W. Ayala. 2005. Producción de Forraje de un campo natural de la zona de lomadas del Este. In: Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural (2005, Treinta y Tres) Resultados experimentales. Montevideo, INIA. pp. 41-50. (Serie Técnica no. 151).
- Breier, B. H., M. H. Oliver, and B. W. Gallaher. 2000. Regulation of Growth and Metabolism During Postnatal Development Cronjé PB (Editor). *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. pp. 187–204. ISBN 0 85199 463 6.
- Cafe, L. M., D. W. Hennessy, H. Hearnshaw, S. G. Morris, and P. L. Greenwood. 2006. Influence of nutrition during pregnancy and lactation on birth weights and growth to weaning of calves sired by Piemontese or Wagyu bulls. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46:245–255. doi: 10.1071/EA05225.
- Cardoso R., S. West, V. Garza and G. Williams. 2022. Nutritional programming of puberty in *Bos indicus*-influenced heifers. EAAP – 73rd Annual Meeting, Porto, Portugal, pp. 290.
- Cavestany, D., C. Viñoles, M. A. Crowe, A. La Manna, A. Mendoza. 2009. Effect of prepartum diet on postpartum ovarian activity in Holstein cows in a pasture-based dairy system. *Animal Reproduction Science* 114:1–13. doi:10.1016/j.anireprosci.2008.08.007.

- Corah, L.R., T. G. Dunn, & C. C Kaltenbach. 1975. Influence of prepartum nutrition on the reproductive performance of beef females and the performance of their progeny. *Journal of Animal Science* 41:819–824. doi:10.2527/jas1975.413819x.
- Cushman, R. A., A. K. McNeel, H. C. Freetly. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.033>.
- Chagas, L. M., F. M. Rhodes, D. Blache, P. J. S. Gore, K. A. Macdonald, G. A. Verkerk. 2006. Pre calving effects on metabolic responses and postpartum anestrus in grazing primiparous dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89:1981–1989.
- DesCôteaux, L, G. Gnemmi, J. Colloton. 2010. *Practical Atlas of Ruminant and Camelid Reproductive Ultrasonography*. Editorial Wiley-Blackwell Inc., Publication ISBN-13: 978-0-8138-1551-0/2010.
- Funston, R. N., D. M. Larson, and K. A. Vonnahme. 2010b. Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance: Implications for beef cattle production. *J. Anim. Sci.* 2010. 88(E. Suppl.): E205–E215. doi:10.2527/jas.2009-2351.
- Funston, R. N., J. L. Martin, D. C. Adams, D. M. Larson. 2010a. Winter grazing system and supplementation of beef cows during late gestation influence heifer progeny. *J. Anim. Science* 88:4094–4101. doi:10.2527/jas.2010-3039.
- Goldberg, V., and O. Ravagnolo. 2015. Description of the growth curve for Angus pasture-fed cows under extensive systems. *Journal of Animal Science* 93, 4285-4290. doi:10.2527/jas2015-9208.
- Hach, C. O. 1987. *Food and feed analysis instruction manual*. Hach, Inc., Loveland, CO. p.12-16.

- Greenwood, P. L., A. N. Thompson, and S. P. Ford. 2010. Postnatal Consequences of the Maternal Environment and Growth During Prenatal Life for Productivity of Ruminants. Greenwood, P. L., A. W. Bell, P. E. Vercoe, G. J. Viljoen, (Editors). *Managing the Prenatal Environment to Enhance Livestock Productivity*. pp 3-36. ISBN 978-90-481-3135-8 (eBook). doi:10.1007/978-90-481-3135-8.
- Greenwood, P. L., and L. M. Cafe. 2007. Prenatal and pre-weaning growth and nutrition of cattle: long term consequences for beef production. *Animal* 1:9, 1283–1296. doi: 10.1017/S175173110700050X.
- Hales, C. N., and D. J. P. Barker. 2001. The thrifty phenotype hypothesis. *British Medical Council* 60: 5-20.
- Hardy, D. B. 2017. Maternal Undernutrition and Long-Term Effects on Hepatic Function. Rajendram R, Preedy VR and Patel VB. (Editors), *Diet, Nutrition, and Fetal Programming*. pp. 107–120. ISBN 978-3-319-60289-9 (eBook). doi:10.1007/978-3-319-60289-9.
- Hess, B. W., S. L. Lake, E. J. Scholljegerdes, T. R. Weston, V. Nayigihugu, J. D. C. Molle, and G. E. Moss. 2005. Nutritional controls of beef cows' reproduction. *Journal of Animal Science* 83, E90-E106.
- Lewdiukow, M., O. M. Lema, J. I. Velazco, and G. Quintans. 2020. Is it possible to accurately estimate lactation curve parameters in extensive beef production systems? *Applied Animal Science* 36:509–514. doi:10.15232/aas.2019-01965.
- Kenyon, P. R., H. T. Blair. 2014. Sheep Foetal programming in sheep – Effects on production. *Small Ruminant Research* 118:16–30. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.12.021.
- Khanal, P., S. V. Husted, A. M. Axel, L. Johnsen, K. L. Pedersen, M. S. Mortensen, A. H. Kongsted, M. O. Nielsen. 2014. Late gestation over- and undernutrition predispose for visceral adiposity in response to a post-natal obesogenic diet, but

- with differential impacts on glucose-insulin adaptations during fasting in lambs. *Acta Physiol.* 210:110–26. doi.org/10.1111/apha.12129.
- Larson, D. M., J. L. Martin, D. C. Adams, and R. N. Funston. 2009. Winter grazing system and supplementation during late gestation influence performance of beef cows and steer progeny. *J. Anim. Sci.* 2009. 87:1147–1155. doi:10.2527/jas.2008-1323.
- León, H. V., J. Hernández-Cerón, D. H. Keisler, and C. G. Gutierrez. 2004. Plasma concentrations of leptin, insulin-like growth factor-I, and insulin in relation to changes in body condition score in heifers. *J. Anim. Sci.* 82:445–451.
- Littell, R. C., P. R. Henry and C. B. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal Anim. Sci.* 76:1216-1231.
- Long, N. M., C. B. Tousley, K. R. Underwood, S. I. Paisley, W. J. Means, B. W. Hess, M. Du, and S. P. Ford. 2012. Effects of early to mid-gestational undernutrition with or without protein supplementation on offspring growth, carcass characteristics, and adipocyte size in beef cattle. *Journal of Animal Science* 90: 197-206. doi.org/10.2527/jas.2011-4237.
- López Valiente, S., A. M. Rodríguez, N. M. Long, G. Quintans, F. E. Miccoli, I. M. Lacau-Mengido, and S. Maresca. 2021a. Age at first gestation in beef heifers affects fetal and postnatal growth, glucose metabolism and IGF-1 Concentration. *Animals* 11:3393. doi:10.3390/ani11123393.
- López Valiente, S., A. M. Rodriguez, N. M. Long, I. M. Lacau-Mengido, S. Maresca. 2021b. The degree of maternal nutrient restriction during late gestation influences the growth and endocrine profiles of offspring from beef cows. *Animal Production* a-j, doi:10.1071/AN20527.
- López Valiente, S., S. Maresca¹, A. M. Rodríguez, N. M. Long, G. Quintans, and R. A. Palladino. 2019. Effect of protein restriction during mid-to late gestation of beef

- cows on female offspring fertility, lactation performance and calve development. *Veterinary Science* 4.10:01-12.
- MacDonald, K. A., J. W. Penno, A. M. Bryant, J. R. Roche. 2005. Effect of feeding level pre- and postpuberty and body weight at first calving on growth, milk production, and fertility in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(9): 3363-3375. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73020-4.
- McLean, K. J., B. H. Boehmer, L. J. Spicer, and R. P. Wettemann. 2018. The effects of protein supplementation of fall calving beef cows on pre-and postpartum plasma insulin, glucose and IGF-I, and postnatal growth and plasma insulin and IGF-I of calves. *J. Anim. Sci.* 96: 2629–2639. doi:10.1093/jas/sky173.
- Meikle, A., D. Cavestany, J. Blanc, E. Krall, G. Uriarte, M. Rodríguez-Irazoqui, G. Ruprechter, A. Ferraris, P. Chilbroste. 2005. Perfiles metabólicos y endócrinos, parámetros productivos y reproductivos en vacas de leche en condiciones pastoriles. *Veterinaria*, (Montevideo) 40 (159-160) 25-40.
- Mene, K.H. and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *An. Res. Dev.* 28:209 - 221.
- Mieres, J.M. 2004. Guía para la alimentación de rumiantes. *Revista INIA*, N° 142, pp. 23-25.
Uruguay.<http://www.inia.uy/publicaciones/documentos%20compartidos/111219240807141556.pdf>.
- Moriel P., J.M.B. Vendramini and R.F. Cooke. 2022. Maternal nutrition during gestation and its consequences to beef offspring performance. *EAAP – 73rd Annual Meeting*, Porto, Portugal, pp. 193.
- Noya, A., G. Ripoll, I. Casasús, A. Sanz. 2022. Long-term effects of early maternal undernutrition on the growth, physiological profiles, carcass and meat quality of

- male beef offspring. *Research in Veterinary Science* 142, 1-11. doi:10.1016/j.rvsc.2021.10.025.
- Noya, A., I. Casasús, J. Ferrer, and A. Sanz. 2019a. Effects of developmental programming caused by maternal nutrient intake on postnatal performance of beef heifers and their calves. *Animals* 9, 1072, 1-17. doi:10.3390/ani9121072.
- Noya, A., I. Casasús, J. Ferrer, and A. Sanz. 2019b. Long-Term Effects of Maternal Subnutrition in Early Pregnancy on Cow-Calf Performance, Immunological and Physiological Profiles during the Next Lactation. *Animals* 9, 936, 1-17. doi:10.3390/ani9110936.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, Seventh Revised Edition, Update 2000 Subcommittee on Beef Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council Available from the National Academies Press, Consultado en Enero 2017. 248 pp. ISBN: 0-309-59241-0. <http://napedu/catalog/9791.html>.
- Paro, R., U. Grossniklaus, R. Santoro, A. Wutz. 2021. Introduction to Epigenetics. pp. 1–201. ISBN 978-3-030-68670-3 (eBook). doi:10.1007/978-3-030-68670-3_9.
- Quintans, G. 2016. Diagnóstico de actividad ovárica: Una herramienta que debemos conocer. *Revista INIA*, N° 47, pp. 13–14. Uruguay. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6393/1/revista-INIA-47-P-12-13-QUINTANS.pdf>.
- Quintans, G., A. Scarsi, G. Roig, M. Carriquiry, and G. Banchemo. 2015. Influence of a short-term prepartum supplementation on beef cows and calves' performance in pastoral conditions. *Animal Production Science* 56(11) 1913-1919. doi:10.1071/AN15082.
- Quintans, G., G. Banchemo, M. Carriquiry, C. López, F. Baldi. 2010. Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Animal Production Science* 50: 931–938.

- Quintans, G., G. Banchemo, G. Roig, M. Carriquiry. 2009. Effect of short-term prepartum supplementation on reproduction of multiparous beef cows on grazing conditions. *Journal of Animal Science* 87, E-Supple 2:76 M236.
- Quintnas, G., J. I. Velazco, G. Roig. 2008. Seminario de Actualización Técnica: Cría Vacuna. *Revista INIA*, N° 174, pp. 9–189. Uruguay. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429240309132410.pdf>.
- Rajendran R, Preedy VR, Patel VB. 2017. Diet, Nutrition, and Foetal Programming, pp. 3–593. ISBN 978-3-319-60289-9 (eBook). doi:10.1007/978-3-319-60289-9.
- Randel, R. D. 1990. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *J. Anim. Sci.* 68:853–8621.
- Relling, A., y G. Mattioli. 2003. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes pp. 1–74. ISBN: 950-34-02387-7.
- Reynolds, W.L., T. M. DeRouen, and R. A. Bellows. 1978. Relationships of milk yield of dam to early growth rate of straightbred and crossbred calves. *J. Anim. Sci.* 47:584–594. doi:10.2527/jas1978.473584x.
- 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.
- Ruiz, A, J, L, L. F. Uribe-Velásquez, O. J. Henry. 2011. Factor de crecimiento semejante a insulina tipo 1 (IGF-1) en la reproducción de la hembra bovina. *Vet. Zootec.* 5(2): 68-81.
- Short, R. E., R. A. Bellows, R. Staigmiller, J. G. Berardinelli, and E. E. Custer. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science* 68,799-816.

- Shoup Lindsay, M., F. A. Ireland, & D. W. Shike. 2017. Effects of dam prepartum supplement level on performance and reproduction of heifer progeny. *Italian Journal of Animal Science* 16:1, 75-81. doi:10.1080/1828051X.2016.1269301.
- Sullivan, T. M., G. C. Micke, R. M. Greer, H. F. Irving-Rodgers, R. J. Rodgers, and V. E. A. Perry. 2009. Dietary manipulation of *Bos indicus*×heifers during gestation affects the reproductive development of their heifer calves. *Reproduction, Fertility and Development* 21, 773–784.
- Totusek, R., D. W. Arnett, G. L. Holland, J. V. Whiteman. 1973. Relation of estimation method, sampling interval and milk composition to milk yield of beef cows and calf gain. *J Anim Sci.* 153–158.
- Tudor, G. D., D. W. Utting y P. K. O'Rourke. 1980. El efecto de la nutrición prenatal y postnatal en el crecimiento del ganado vacuno. III The effect of severe restriction in early post-natal life on the development of the body components and chemical composition. *Australian Journal of Agriculture Research* 31, 191-24.
- Underwood, K. R., J. F. Tong, P. L. Price, A. J. Roberts, E. E. Grings, B. W. Hess, W. J. Means, and M. Du. 2010. Nutrition during mid to late gestation affects growth, adipose tissue deposition, and tenderness in cross-bred beef steers. *Meat Science* 86: 588-93. doi:10.1016/j.meatsci.2010.04.008.
- Vizcarra, J., R. Wettermann, J. Spitzer, D. Morrison. 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas hereford. Centro de investigaciones agronomicas “Alberto Boerger”. *Investigaciones Agronómicas*, 7(1):45-47.
- Wathes, D.C. 2022. Developmental Programming of Fertility in Cattle—Is It a Cause for Concern? *Animals*. 12, 2654: 1 – 34. <https://doi.org/10.3390/ani12192654>.

Wettemann, R. P., and I. Bossis. 2000. Energy Intake Regulates Ovarian Function in Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, 77(suppl_E) 1–10. doi:10.2527/jas2000.77E-Suppl1c.

4. DISCUSIÓN

El presente trabajo de tesis forma parte de un proyecto de investigación que aborda los efectos de la nutrición materna sobre la descendencia en vacunos (Maresca et al., 2020, Maresca et al., 2019, López-Valiente et al., 2019, Maresca et al., 2018, López-Valiente et al., 2017). Fue diseñado con el objetivo de contribuir al conocimiento sobre los efectos de la subnutrición de energía en el último tercio de gestación de vacas de cría para carne sobre las variables que impactan en nuestros sistemas de producción. En nuestro sistema de producción, los servicios reproductivos son realizados mayoritariamente en verano, con pariciones en primavera. Consecuentemente, las vacas de cría cursan el último tercio de gestación durante el invierno, cuando el desarrollo de los tejidos fetales alcanza su incremento máximo en el útero y cuando también crecen las demandas energéticas (Bell, 1995). El ambiente uterino depende de la nutrición materna y esta última debe proveer la energía suficiente para el desarrollo del nuevo individuo (Funston et al., 2012). Además, la importancia de la ternera en su condición de futura madre de reemplazo enfoca nuestra atención en entender cómo se puede ver afectado su desempeño a partir del nacimiento, a través de los efectos de la nutrición preparto de sus madres. Trabajos previos han establecido que estímulos nutricionales recibidos en la etapa intrauterina pueden influenciar la fisiología de las crías y el desarrollo pre- y posnatal (Noya et al., 2022, López-Valiente et al., 2021, Maresca et al., 2018, Funston et al., 2012, Martin et al., 2007, Barker, 1990).

Los tratamientos nutricionales (75 % y 125 % de los requerimientos) asignados a las vacas durante el último tercio de gestación fueron efectivos para generar resultados diferentes en la CC, PV y en el intervalo parto-concepción de las madres. En los sistemas de producción a campo y en el último tercio de la gestación, las demandas de energía aumentan 30 a 50 % respecto a los requerimientos de mantenimiento (Bell, 1995). Esta demanda implica obtener energía a partir del consumo de alimento y/o de la movilización de reservas corporales. Sin embargo, la utilización de las reservas corporales puede impactar negativamente en la reproducción posparto de las vacas: el balance energético negativo inhibe la producción de pulsos de GnRH (hormona

gonadotrópica estimulante) en el hipotálamo y de LH (hormona luteinizante) en la hipófisis y, como resultado, se inhibe la actividad del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal. Este problema está extensamente documentado y señalado como la principal limitante de la reproducción en rodeos de cría de todo el mundo (Scarsi y Quintans, 2013, Chagas et al., 2006, Hess et al., 2005, Bossis et al., 2000, Wettemann y Bossis, 2000, Randel, 1990, Short et al., 1990). Existe amplia información donde se plantea el modelo o concepto de que las vacas deben alcanzar una condición corporal (igual o mayor a 4 u) dentro del ciclo biológico, de forma tal de lograr la reproducción en tiempo y forma (Quintans et al., 2008, Short et al., 1990). La restricción alimenticia durante las fases finales de la gestación y las reservas corporales al parto serían los factores más importantes en la aparición de anestro posparto prolongado en ganado para carne. Experiencias nacionales reportaron que vacas adultas paridas con una condición corporal de 4 puntos ciclaban a los 92 días posparto (Quintans et al., 2004). Nuestros resultados no concuerdan con reportes donde las dietas manipuladas antes del parto no afectaron el desempeño reproductivo, con vacas que parieron con una condición corporal de 4 puntos o mayor (Lopez Valiente et al., 2019, Wilson et al., 2015, Radunz et al., 2010, Larson et al., 2009, Stalker et al., 2006).

Es común observar una caída de condición corporal antes del parto en nuestras condiciones pastoriles, coincidente con el invierno y con lo reportado en esta tesis. Por ejemplo, vacas multíparas en alta y baja condición corporal manejadas sobre campo natural presentaron una importante caída de estado antes del parto (Quintans et al., 2010). En el presente trabajo, el nivel de energía consumido provocó una evolución diferencial de la condición corporal de las vacas durante la aplicación de los tratamientos y en la lactación. La evolución de la condición corporal se relaciona con el metabolismo lipídico y con los cambios en este, caracterizado por el aumento o disminución de la movilización de ácidos grasos no esterificados (AGNE) que se encuentran como tejido de reservas corporales (Bell, 1995). Como fue expuesto en el capítulo 2, la subnutrición en las vacas con nivel restrictivo de energía y la condición corporal inicial pudieron provocar una movilización diferencial de reservas corporales en respuesta a la demanda de energía, reflejado en el aumento en la concentración de

AGNE observada hacia el final de la gestación. Durante la lactación, la movilización de las reservas corporales se mantuvo, lo que se evidenció con el incremento en los niveles y concentración de AGNE y podría ser explicada por la lactogénesis. Sin embargo, en la lactación temprana, los niveles de la concentración de AGNE fueron superiores en vacas de nivel ALTO respecto a las de BAJO, relacionado a un mejor estado de reserva corporal y mayor peso vivo preparto. En el presente trabajo, el bajo consumo de energía en el último tercio de gestación generó diferencias en la condición corporal, peso vivo y en el intervalo parto-concepción de las madres. Los resultados obtenidos por nuestro equipo de trabajo exponen la capacidad de las vacas para carne de sobreponerse al estrés nutricional en el último tercio de gestación en nuestras condiciones de producción. No obstante, en condiciones comerciales, es posible especular que la subnutrición durante el último tercio de gestación sigue afectando negativamente el desempeño de las vacas de cría para carne, ya que se refleja en bajas tasas reproductivas (DIEA, 2016). Así, surge la interrogante de si en sistemas de pastoreo en campo natural la subnutrición energética durante el último tercio de gestación podría ser superior a la utilizada en este trabajo (75 % de los requerimientos).

Con los niveles de energía y la metodología aplicadas en el presente trabajo, la producción de leche tuvo una respuesta similar entre tratamientos. Se ha reportado que la producción de leche puede ser afectada negativamente por la nutrición pre- y posparto y por el estado de reserva corporal al parto (Quintans et al., 2015), pero este efecto no se manifestó en nuestro trabajo. Como se reporta en el capítulo 2 y 3, la condición corporal preparto y de lactación fue diferente entre tratamientos, la producción de leche y la cantidad media obtenida estuvo en concordancia con lo reportado en sistemas de producción similares (7,09 kg/día, Iewdiukow et al., 2020). Está documentado que la alta demanda de nutrientes de las células de la glándula mamaria para realizar la lactogénesis requiere obtener y utilizar nutrientes suministrados por la alimentación y/o por la movilización de las reservas corporales (Larson et al., 2009, Short et al., 1990). La alta demanda de nutrientes y/o los períodos de restricción activan mecanismos dinámicos u homeoréticos en busca del equilibrio energético, el metabolismo lipídico es activado y las reservas de energía bajo forma de

lípidos almacenados en el tejido adiposo son movilizadas (López-Valiente et al., 2019, Radunz et al., 2010, Meikle et al., 2005, Chilliard et al., 2000). La movilización de las reservas en respuesta al metabolismo lipídico estuvo reflejada en el incremento en la concentración de AGNE. En este trabajo, la condición corporal de las vacas fue la adecuada para amortiguar los efectos de la subnutrición y la lactancia. Respecto de la alimentación posparto, el diseño experimental no permite inferir si las pasturas de primavera, más ricas en proteína y energía (Mieres et al., 2004), provocaron efectos confundidos de las dietas preparto por sobre la producción de leche. En síntesis, los tratamientos nutricionales preparto y la condición corporal de las vacas no afectaron de forma evidente a la producción de leche.

En el presente trabajo, el objetivo principal fue el estudio de las respuestas de la descendencia a la subnutrición materna en el último tercio de gestación. Como se expone en los resultados del capítulo 2, el bajo nivel de energía consumida durante el último tercio de gestación en vacas para carne no afectó el desarrollo de la placenta, el desarrollo de las terneras (F1), evaluado a través de la morfometría y peso vivo al nacimiento, y su comportamiento en las primeras horas de vida. Se ha reportado que la desnutrición materna puede generar o producir alteraciones permanentes en el crecimiento y desarrollo fetal y neonatal, por alteración del tamaño placentario y la capacidad de transferencia de nutrientes para mantener el crecimiento fetal (Satterfield et al., 2021, Bohnert et al., 2013, Lanham et al., 2011). El desarrollo placentario en términos de cantidad de cotiledones y vascularización sólo se extienden hasta finales de la segunda mitad de la gestación, mientras que el flujo sanguíneo placentario va hasta el último tercio gestacional (Vonnahme et al., 2018, Assis Neto et al., 2010). Como fue expuesto en este trabajo, los planos nutricionales aplicados en la gestación tardía no generaron diferencias en las variables placentarias reportadas. Podríamos especular que la vascularización placentaria no fue afectada por el bajo nivel de energía nutricional de las vacas en el último tercio de la gestación. En efecto, Satterfield et al. (2021) reportaron que debería existir una reducción muy marcada (50 %) en la ingesta de nutrientes maternos en el último tercio de gestación para alterar la funcionalidad placentaria y el flujo sanguíneo placentario, así como el flujo de

nutrientes al feto, e impactar negativamente el desarrollo fetal. Como ya fue expuesto, las concentraciones de AGNE e insulina reportadas en nuestro trabajo expresaron, en parte, la movilización de las reservas corporales de las vacas, que parecería haber cubierto las demandas de energía del último tercio de gestación. Esto permitiría suponer que las terneras (F1) de ambos tratamientos recibieron niveles no restrictivos de energía, lo que se vio reflejado en la ausencia de diferencias en las variables de desarrollo. A su vez, datos publicados del equipo evidenciaron que la subnutrición proteica en vacas en el último tercio de gestación provocó diferencias en el desarrollo de la descendencia (F1) al nacimiento, explicado por la baja concentración de IGF-1 y el desarrollo pancreático (López valiente et al., 2021a). Se ha reportado que IGF-1 estimula la síntesis proteica e inhibe la degradación de proteína, todo lo cual estimula al crecimiento y desarrollo (Oksbjerg et al., 2013, Osgerby, 2004, Breier et al., 2000). Además, reportes recientes indican que las placentas correspondientes a gestación de fetos hembra pueden tener una mayor actividad biogénica y bioenergética mitocondrial (Bartho et al., 2022, Saoi et al., 2020, Mayeur et al., 2012). La actividad antes mencionada se ve reflejada en adaptación para un correcto desarrollo del feto y programando el perfil metabólico de la descendencia (Bartho et al., 2022, Saoi et al., 2020, Mayeur et al., 2012, Myatt, 2006). En el presente trabajo, las variables IGF-1 e insulina de la descendencia (F1) no fueron diferentes entre los tratamientos (capítulo 3). En síntesis, es posible hipotetizar que el retraso en el crecimiento y desarrollo intrauterino se relacione más con mayores carencias nutricionales de energía que las utilizadas en nuestro trabajo.

En relación con el desarrollo desde el nacimiento al destete, la tasa de ganancia de peso vivo y el peso vivo fueron diferentes entre las terneras (F1) ante una similar producción de leche de las madres. La restricción de energía durante el último tercio de gestación provocó que las (F1) de los tratamientos restringidos en energía fueran 6,5 % más livianas al destete. Esta información está en línea con otros reportes recientes del equipo (López-Valiente et al., 2021a, López-Valiente et al., 2019). Los resultados de este trabajo y los antecedentes del equipo conducen a la hipótesis de que el nivel de energía materno en el último tercio de la gestación programó el desarrollo

de las terneras. Efectivamente, según lo reportado por Greenwood y Bell (2019), la restricción nutricional durante el final de la gestación (momento de mayor crecimiento fetal) puede reducir el crecimiento y desarrollo posnatal. La reducción del crecimiento puede ser originada por una respuesta diferencial del metabolismo en función de la plasticidad hepática y en respuesta a la subnutrición de energía en la etapa gestacional (Hardy, 2017). De hecho, Prezotto et al. (2018, 2016, 2014), mencionado por Caton et al. (2019), concluyeron que el uso de energía en el hígado es menor en las crías de madres que tuvieron restricción de nutrientes durante la gestación, lo que sugiere que los fetos durante la gestación pueden modular las necesidades energéticas en respuesta a la restricción de nutrientes. El crecimiento posnacimiento depende inicialmente de la leche materna y paulatinamente de la pastura; un funcionamiento hepático inadecuado se traduce en reducción del aprovechamiento de nutrientes alimenticios y de la síntesis proteica (Wu et al., 2006). La reducción en la síntesis proteica se puede traducir en menor desarrollo muscular en los primeros meses de vida y alteraciones en la deposición de grasa (Hardy, 2017), observando menor tasa de ganancia de peso vivo y peso vivo. Por otro lado, se ha indicado diferencias en las características digestivas de la descendencia, como consecuencia de la subnutrición materna durante la gestación, que afectarían permanentemente la utilización del alimento (Giobelli et al., 2016). Se requiere más investigación para esclarecer los efectos del nivel de energía nutricional materno al final de la gestación sobre el desarrollo de la progenie.

Durante la lactación, la morfología y/o funcionalidad del sistema digestivo deben ser adecuadas para una eficiente utilización de nutrientes y para no afectar negativamente la ganancia de peso y el peso vivo de los terneros (Noya et al., 2019a, Greenwood y Cafe, 2007). En corderos fue reportada menor tasa de eficiencia en la utilización de energía y menores tasas de crecimiento posnatal cuando sus madres fueron restringidas nutricionalmente durante la gestación (Greenwood et al., 2010, Wu et al., 2006); mientras que la restricción nutricional severa (50 % del requerimiento) en vacas durante el último tercio de gestación produjo terneros más eficientes en convertir el alimento en mayor ganancia de peso y peso vivo al destete (López-Valiente et al., 2021). Los resultados reportados respecto a restricciones de energía moderadas o

severas son contradictorios. Podríamos especular que el sistema digestivo de las terneras (F1) del tratamiento BAJO fue funcionalmente deficiente como resultado de estar sujeto a una restricción nutricional durante la vida uterina. Provenza et al. (2015) plantearon que los herbívoros incorporan información respecto de los alimentos desde el útero, a través de la exposición a los distintos alimentos en la dieta materna e interactuando con el genoma durante su desarrollo. Los mismos autores reportaron que las vacas preñadas que comen forrajes y cuyas necesidades de energía no se cubren completamente preparan al feto para utilizar mejor el alimento de baja calidad y alto en fibra en la vida posnatal. Siguiendo el anterior planteo, podríamos asumir que si la alimentación en la lactación es adecuada, la tasa de ganancia de peso vivo de las terneras hasta el destete sería similar entre tratamientos. Pero, durante la lactación, las terneras (F1) se manejaron en las mismas condiciones nutricionales y la respuesta registrada en este trabajo para las terneras hijas de vacas restringidas en energía no parece expresar el efecto asumido en la presunción anterior. El nivel nutricional de las vacas restringidas en energía pudo afectar el sistema digestivo y hepático de las terneras, lo que se expresó en el período posnatal (Caton et al., 2019). Además, se ha reportado que la restricción de alimento durante la etapa fetal afectó el eje GH-IGF-1, lo que disminuyó la concentración plasmática de IGF-1 (Maresca et al., 2018, Brameld et al., 2000). La concentración de IGF-1 de las terneras (F1) fue similar entre tratamientos pero, redujo su concentración en el tiempo. Es posible plantear que las diferencias entre tratamientos parecerían responder a una funcionalidad hepática distinta avanzada la lactación y al estrés del crecimiento que alterarían la expresión génica hepática, lo que afectaría negativamente el metabolismo y el desarrollo (Hardy, 2017). Se requiere más investigación para dilucidar los mecanismos involucrados en las respuestas observadas entre los tratamientos.

Se agrega a la información hasta aquí discutida el impacto negativo que ocurre cuando la ternera pierde de ganar PV como se reporta en este trabajo (capítulo 3), y cuando además se aplican métodos de control de amamantamiento. Como hemos planteado hasta aquí, la restricción de energía durante la gestación impacta de forma directa e indirecta en el peso vivo de las terneras al destete. En efecto, se ha reportado que la

descendencia de vacas subnutridas fue más liviana y menos rentable al destete respecto a la descendencia de las mejor nutridas (Larson et al., 2009). Los kilogramos de ternero obtenidos al destete representan el resultado productivo de la cría para carne y, consecuentemente, un menor desempeño de la descendencia impacta directamente en el rendimiento productivo y económico de la cría a campo. En ovejas se ha observado resultados similares a los del ganado bovino en relación con el crecimiento posnatal tras la restricción nutricional de las ovejas durante la gestación, con corderos que presentan tasas de crecimiento reducidas o similares hasta alcanzar el peso de mercado (Greenwood et al., 2019). Lo reportado en este trabajo, junto a los resultados productivos y reproductivos nacionales (INIA, 2022, DIEA, 2016), brinda una imagen del sistema de cría y una posible ventana donde pueden ser realizados cambios de manejo que impacten positivamente en la productividad al destete.

Como fue expuesto en el capítulo 3, la subnutrición de energía aplicada en el último tercio de gestación no provocó diferencias apreciables en la ganancia diaria de peso vivo desde el destete a la pubertad, en el peso vivo a la pubertad y en la edad a la pubertad de las (F1). Resultados similares fueron reportados para el período destete a pubertad en la progenie de vacas subnutridas en el último tercio de gestación (López Valiente et al., 2019, Shoup et al., 2017, Funston et al., 2010a, Larson et al., 2009, Corah et al., 1975). Como fue discutido antes, la información reportada en este trabajo sugiere que las hijas serían menos eficientes en la utilización de nutrientes durante la lactación. En el período destete-pubertad parecen compensar el desarrollo ligado al momento de la restricción recibida en la etapa fetal (Greenwood y Cafe, 2007; Hornick et al., 2000). Además, la concentración de IGF-1 en las (F1) no fue diferente entre tratamientos en el período destete-pubertad, lo que podría indicar que la descendencia estaría compensando su desarrollo (Noya et al., 2022, López-Valiente et al., 2021a). El apropiado desarrollo habría permitido que las (F1) alcanzaran un peso vivo adecuado y llegaran a la pubertad sin diferencias entre tratamientos. La pubertad está relacionada con la edad cronológica y, más fuertemente, con el desarrollo, donde la tasa de ganancia sostenida de peso vivo y el porcentaje de peso vivo de adulto alcanzado son factores importantes para el inicio de la pubertad, sumado a una

adecuada reserva de energía (Quintans et al., 2008). En este trabajo la referencia de peso vivo adulto considerado fue de 470 kg, estimación que fue descrita por Goldberg y Ravagnolo (2015). Las terneras (F1) de nuestro trabajo tuvieron una ganancia sostenida de peso vivo de 500 gramos por día y, en concordancia con los reportes realizados por Freetly et al., (2011) y Noya et al., (2019) y lo descrito por Golberg y Ravagnolo (2015), alcanzaron la pubertad con el 70 % y 67 % del peso vivo de adultas para ALTO y BAJO respectivamente. Otros investigadores han reportado que existe un efecto negativo de la subnutrición materna durante la gestación sobre la edad de la pubertad en vaquillonas hijas (Harvey et al., 2021, Lansford et al., 2021, Funston et al., 2010b). Reportes recientes indican que la nutrición en la vida posnatal temprana determinaría la edad de pubertad en las vaquillonas, en condiciones ambientales similares sin restricción nutricionales y sin limitar el desarrollo (Cracco et al., 2021). Se ha reportado que la respuesta compensatoria del desarrollo es mayor después de restricciones de energía (Drouillard et al., 1991). Sería prudente plantear, entonces, que según los requerimientos de energía en las terneras en crecimiento, que sufrieron restricción fetal de energía y que después reciben nutrición adecuada, tengan compensado su desarrollo y alcancen la pubertad (Caton et al., 2019). Otras investigaciones con tratamientos de restricción en proteína y/o energía, en momentos distintos (1.^{er}, 2.^{do} y 3.^{er} tercio) de la gestación y en diferentes especies y razas no indicaron efectos sobre edad de aparición de la pubertad (Cracco et al., 2021, López-Valiente et al., 2019, Nepomuceno et al., 2016, Gunn et al., 2015, Cushman et al., 2014, Zambrano et al., 2014, Warner et al., 2011, Funston et al., 2010a, Martin et al., 2007, Corah et al., 1975).

Existen escasos reportes que indiquen que la restricción durante el último tercio de gestación afecta negativamente la tasa de preñez de la descendencia (Martin et al., 2007). La preñez de las (F1) de nuestro trabajo no fue diferente entre tratamientos a dos niveles de energía. Otros reportes indican que la restricción proteica tampoco generó diferencias en la preñez (López-Valiente et al., 2019). Los resultados de las variables reproductivas son coincidentes con reportes de la investigación internacional reciente (Long et al., 2012, Ireland et al., 2011, Sullivan et al., 2009). El desarrollo de

las estructuras involucradas y vinculadas en la reproducción (aparato reproductor, hipotálamo e hipófisis) ocurre en el primer y segundo tercio de gestación (Zambrano et al., 2014, Greenwood et al., 2010). Recientemente, se reportó que restricciones de energía del 35 % durante el primer trimestre de gestación no perjudicaron la tasa de preñez de la descendencia (Noya et al., 2019). Beard et al. (2019) reportaron diferencias en el peso vivo al nacimiento y al destete en terneras hijas de vacas subnutridas en el último tercio de gestación, pero sin diferencias evidentes en la edad reproductiva y porcentaje de parición en los primeros años. Como se expresó anteriormente, las terneras (F1) llegaron a la pubertad con el 70 % y 67 % del peso vivo de adultas para ALTO y BAJO respectivamente, lo que podría relacionarse con adecuado desarrollo. Los tratamientos nutricionales aplicados a vacas maduras en el último tercio de gestación no generaron efecto sobre las características reproductivas de las (F1).

El desempeño de la descendencia (F2) no fue afectado por la restricción de energía de sus abuelas en el último tercio de gestación. Como fue expuesto en el capítulo 3, los resultados de este trabajo están en línea con los reportados por otras investigaciones (Noya et al., 2019). Aunque el efecto programado pudo ocurrir en las terneras (F1) en las que se observaron diferencias en las variables de desarrollo hasta el destete, la programación parece no suceder para las terneras (F2). Sin embargo, y aunque es arriesgado plantear una hipótesis clara con la información recolectada, se podría especular que para las terneras (F1) y (F2) existió una estrategia de protección para la especie. La restricción de energía en las vacas seguida de una disminución de la condición corporal provocaría que generaciones futuras cambien su metabolismo para vivir en condiciones desfavorables (Hardy, 2017, Provenza et al., 2015). En nuestro trabajo, las vacas del tratamiento con restricción de energía tuvieron disminución de la condición corporal antes del parto. Estudios recientes reportaron los efectos negativos de los años de sequía sobre el desarrollo de la descendencia de vacas subnutridas y con baja condición corporal en el último tercio de gestación, aunque no se afectó la reproducción (Beard et al., 2019). Entonces, el anterior planteo de protección de la especie en las terneras se podría considerar como regulación

programada de la especie con cambios epigenéticos (Hardy, 2017, Provenza et al., 2015, Eriksson et al., 2010). Se ha indicado que la señal metabólica involucrada en la programación es la reserva de energía del organismo reflejada con la condición corporal. El desarrollo de las terneras (F2) no fue afectado por los tratamientos nutricionales de sus abuelas, posiblemente por un mecanismo de regulación metabólico. Se requiere más investigación de los efectos de una subnutrición energética más severa sobre los eventos fisiológicos y metabólicos involucrados en la preservación de la descendencia.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de tesis, se aporta información de los efectos de subnutrición moderada de energía en el último tercio de gestación sobre la descendencia, pudiendo enmarcar los resultados en la programación fetal. La movilización de reserva corporal pre- y posparto fue suficiente para no comprometer la producción de leche, lo que evidencia resiliencia ante el desafío de la restricción nutricional. La adaptación anterior podría ser análoga en sistemas de cría en campo nativo en los cuales el último tercio de gestación ocurre en inviernos con similares restricciones de energía. Particularmente, no hubo efecto evidente en los parámetros de crecimiento ni desarrollo de las terneras cuyas madres y, eventualmente, abuelas fueron restringidas a un 75% de sus requerimientos energéticos durante el último tercio de gestación, para las características exploradas en este trabajo. Se necesita seguir produciendo información respecto de los efectos de restricciones de energía nutricional más severas de vacas durante el último tercio de gestación sobre el desempeño productivo y reproductivo de la progenie.

6. LITERATURA CITADA

- Assis Neto AC, Pereira FTV, Santos TC, Ambrosio CE, Leiser R, Miglino MA. 2010. Morpho-physical Recording of Bovine Conceptus (*Bos indicus*) and Placenta from Days 20 to 70 of Pregnancy. *Reproduction in Domestic Animals*, 45: 760-772. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2009.01345.x>.
- Barker DJP, Eriksson JG, Forsén T, Osmond C. 2002. Fetal origins of adult diseases: strength of effects and biological basis. *International Journal of Epidemiology*, 31: 1235-1239. <https://doi.org/10.1093/ije/31.6.1235>.
- Barker D. 1990. The fetal and infant origins of adult disease. *BMJ (Clinical research ed.)*, 301:1111.
- Bartho LA, Fisher JJ, Walton SL, Perkins AV, Cuffe JSM. 2022. The effect of gestational age on mitochondrial properties of the mouse placenta. *Reproduction and Fertility*, 3: 19-29. <https://doi.org/10.1530/RAF-21-0064>.
- Beard JK, Silver GA, Scholljegerdes EJ, Summers AF. 2019. The effect of precipitation received during gestation on progeny performance in *Bos indicus* influenced beef cattle. *Translate Animal Science*, 3: 256-262. <http://doi.org/10.1093/tas/txy139>.
- Bell AW. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science*, 73: 2804-2819.
- Berretta E, Risso D, Montossi F, Pigurina G. 2000. Campos in Uruguay (2000) In: Lemaire G, Hogdson J de Moraes A, Nabinger C, Carvalho PC, eds. *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (New York, USA: CAB International). 377-394.
- Bohnert DW, Stalker LA, Mills RR, Nyman A, Falck SJ, Cooke RF. 2013. Late gestation supplementation of beef cows differing in body condition score: effects on cow and calf performance. *Journal of Animal Science*, 91: 5485-91. <http://doi.org/10.2527/jas.2013-6301>.
- Bossis, I, Wettemann RP, Welty SD, Vizcarra J, Spicer LJ. 2000. Nutritionally induced anovulation in beef heifers: Ovarian and endocrine function during re-

- alimentation and resumption of ovulation. *Biology of Reproduction* 62: 1436-1444. <http://doi:10.1095/biolreprod62.5.1436>.
- Brameld JM, Mostyn A, Dandrea J, Stephenson TJ, Dawson JM, Buttery PJ, Symonds ME. 2000. Maternal nutrition alters the expression of insulin-like growth factors in fetal sheep liver and skeletal muscle. *Journal of Endocrinology*, 167: 429-437. <http://doi:10.1677/joe.0.1670429>.
- Breier BH, Oliver MH, Gallaher BW. 2000. Regulation of Growth and Metabolism During Postnatal Development Cronjé PB (Editor). *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. pp. 187-204. ISBN 0 85199 463 6.
- Caton JS, Crouse MS, Reynolds LP, Neville TL, Dahlen CR, Ward A K, Swanson KC. 2019. Maternal nutrition and programming of offspring energy requirements. *Translational Animal Science*, 3(3): 976-990. <http://doi:10.1093/tas/txy127>.
- Chagas LM, Rhodes FM, Blache D, Gore PJS, Macdonald KA, Verkerk GA. 2006. Pre calving effects on metabolic responses and postpartum anestrus in grazing primiparous dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89: 1981-1989.
- Chilliard Y, Ferlay A, Faulconnier Y, Bonnet M, Rouel J, Bocquier F. 2000. Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society*. 59(1): 127-134. <http://doi:10.1017/s002966510000015x>.
- Corah LR, Dunn TG, Kaltenbach CC. 1975. Influence of Prepartum Nutrition on the Reproductive Performance of Beef Females and the Performance of Their Progeny. *Journal of Animal Science*, 41: 819. <http://doi:10.2527/jas1975.413819x>.
- Cracco RC, Bussiman FO, Polizel GHG, Furlan E, Garcia NP, Poit SDA, Pugliesi G, Santana MHA. 2021. Effects of Maternal Nutrition on Female Offspring Weight Gain and Sexual Development. *Frontiers in Genetics*, 12: 1-12. <http://doi:10.3389/fgene.2021.737382>.
- Cushman RA, McNeel AK, Freetly HC. 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. <http://doi:10.1016/j.livsci.2014.01.033>.
- Da Silva P, van den Hurk R, Velde ERT, Taverne MAM. 2003. Ovarian development in intrauterine growth retarded and normally developed piglets originating from the same litter. *Reproduction* 126: 249-258. <http://doi:10.1530/rep.0.1260249>.
- Dickerson GE. 1978. Animal size and efficiency: basic concepts. *Animal Production*, 27: 367-379. <http://doi.org/10.1017/S0003356100036278>.
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2020. Anuario estadístico agropecuario. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Uruguay. Consultado en junio de 2020. [En línea] Disponible en: www.mgap.gub.uy/diea
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2016. Anuario estadístico agropecuario. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Uruguay. Consultado en agosto de 2016. [En línea] Disponible en: www.mgap.gub.uy/diea
- Drouillard JS, Ferrell CL, Klopfenstein TJ, Britton RA. 1991. Compensatory growth following metabolizable protein or energy restrictions in beef steers. *Journal of Animal Science*. 69: 811-818. <http://doi:10.2527/1991.692811x>.
- Dupont C, Cordier AG, Junien C, Mandon-Pépin B, Levy R, Chavatte-Palmer P. 2012. Maternal environment and the reproductive function of the offspring. *Theriogenology*, 78: 1405-1414. <http://doi:10.1016/j.theriogenology.2012.06.016>.
- Eriksson JG, Kajantie E, Osmond C, Thornburg K, Barker DJP. 2010. Boys Live Dangerously in the Womb. *American J. Hum. Biol.* 22(3): 330-335. <http://doi:10.1002/ajhb.20995>.
- Ferrell CL. 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: 1945-1953. <http://doi:10.2527/1991.6951945x>.
- Ford SP, Hess BW, Schwoppe MM, Nijland MJ, Gilbert JS, Vonnahme KA, Means WJ, Han H, Nathanielsz PW. 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. <http://doi:10.2527/jas.2005-624>.

- Freetly HC, Kuehn LA, Cundiff LV. 2011. Growth curves of crossbred cows sired by Hereford, Angus, Belgian Blue, Brahman, Boran, and Tuli bulls, and the fraction of mature body weight and height at puberty. *Journal of Animal Science*, 89(8): 2373-2379. <http://doi:10.2527/jas.2011-3847>.
- Funston RN, Summers AF, Roberts AJ. 2012. Alpharma Beef Cattle Nutrition Symposium: Implications of nutritional management for beef cow-calf systems. *Journal of Animal Science*, 90: 2301-2307. <http://doi:10.2527/jas.2011-4568>.
- Funston RN, Martin JL, Adams DC, Larson DM. 2010a. Winter grazing system and supplementation of beef cows during late gestation influence heifer progeny. *Journal of Animal Science*, 88: 4094-4101. <http://doi:10.2527/jas.2010-3039>.
- Funston RN, Larson DM, Vonnahme KA. 2010b. Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance: Implications for beef cattle production. *Journal of Animal Science*, 88(E. Suppl.): E205-E215. <http://doi:10.2527/jas.2009-2351>.
- Goldberg V, Ravagnolo O. 2015. Description of the growth curve for Angus pasture-fed cows under extensive systems. *Journal of Animal Science*, 93: 4285-4290. <http://doi:10.2527/jas2015-9208>.
- Greenwood PL, Bell AW. 2019. Developmental Programming and Growth of Livestock Tissues for Meat Production. *Veterinarian Clinic Food Animal*, 35: 303-319. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.02.008>.
- Greenwood PL, Thompson AN, Ford SP. 2010. Postnatal consequences of the maternal environment and of growth during prenatal life for productivity of ruminants. In: *Managing the Prenatal Environment to Enhance Livestock Productivity*. P. L. Greenwood, A. W. Bell, P. E. Vercoe, and G. J. Vilijoen. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 3-36.
- Greenwood PL, Cafe LM. 2007. Prenatal and pre-weaning growth and nutrition of cattle: long term consequences for beef production. *Animal*, 1(9): 1283-1296. <http://doi:10.1017/S175173110700050X>.
- Gunn PJ, Schoonmaker JP, Lemenager RP, Bridges GA. 2015. Feeding distiller's grains as an energy source to gestating and lactating beef heifers: Impact on

- female progeny growth, puberty attainment, and reproductive processes. *Journal of Animal Science*, 93(2): 746-757. <http://doi:10.2527/jas.2014-8130>.
- Hardy DB 2017. Maternal Undernutrition and Long-Term Effects on Hepatic Function. Rajendram R, Preedy VR and Patel VB. (Editors), *Diet, Nutrition, and Fetal Programming*. pp. 107-120. ISBN 978-3-319-60289-9 (eBook). <http://doi:10.1007/978-3-319-60289-9>.
- Harvey KM, Cooke RF, Colombo EA, Rett B, de Sousa OA, Harvey LM, Russell JR, Pohler KG, Brandão AP. 2021. Supplementing organic-complexed or inorganic Co, Cu, Mn, and Zn to beef cows during gestation: postweaning responses of offspring reared as replacement heifers or feeder cattle. *Journal of Animal Science*, 99(6): 1-11. <http://doi:10.1093/jas/skab082>.
- Hess BW, Lake SL, Scholljegerdes EJ, Weston TR, Nayigihugu V, Molle JDC, Moss GE. 2005. Nutritional controls of beef cows reproduction. *Journal of Animal Science* 83: Suppl. 13: E90-E106. http://doi:10.2527/2005.8313_SUPPLE90X.
- Hornick JL, Van Eenaeme C, Gérard O, Dufresen I, Istasse L. 2000. Mechanisms of reduced compensatory growth. *Domestic Animal Endocrinology*. 19: 121-132. [http://doi:10.1016/s0739-7240\(00\)00072-2](http://doi:10.1016/s0739-7240(00)00072-2).
- Hough RL, McCarthy FD, Kent HD, Eversole DE, Wahlberg ML. 1990. Influence of nutritional restriction during late gestation on production measures and passive immunity in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 68: 2622-2627. <http://doi:10.2527/1990.6892622x>.
- Houwing H, Hurnik JF, Lewis NJ. 1990. Behavior of periparturient dairy cows and the calves. *Canadian Journal of Animal Science*, 355-362. <http://doi.org/10.4141/cjas90-047>.
- Iewdiukow M, Lema OM, Velazco JI, Quintans G. 2020. Is it possible to accurately estimate lactation curve parameters in extensive beef production systems? *Applied Animal Science* 36: 509-514. <http://doi:10.15232/aas.2019-01965>.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 2022. XIV Taller de evaluación de los diagnósticos de gestación vacuna. INIA Treinta y Tres, Uruguay. [En línea]. Junio 2022. Disponible en: www.inia.uy/estaciones-

experimentales/direcciones-regionales/inia-treinta-y-tres/xiii-taller-de-
evaluaci%C3%B3n-de-los-diagn%C3%B3sticos-de-gestaci%C3%B3n-vacuna.

- Ireland JJ, Smith GW, Scheetz D, Jimenez-Krassel F, Folger JK, Ireland JLH, Mossa F, Lonergan P, Evans ACO. 2011. Does size matter in females? An overview of the impact of the high variation in the ovarian reserve on ovarian function and fertility, utility of anti-Mullerian hormone as a diagnostic marker for fertility and causes of variation in the ovarian reserve in cattle. *Reproduction, Fertility and Development*, 23: 1-14. <http://doi:10.1071/RD10226>.
- Kenyon PR, Blair HT. 2014. Foetal programming in sheep – Effects on production. *Small Ruminant Research*, 118: 16-30. <http://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.12.021>.
- Kroker GA, Cummins LJ. 1979. The effect of nutritional restriction on hereford heifers in late pregnancy. *Australian Veterinary Journal*, 55: 467-474. <http://doi:10.1111/j.1751-0813.1979.tb00371.x>.
- Lanham SA, Bertram C, Cooper C, Oreffo ROC. 2011. Animal models of maternal nutrition and altered offspring bone structure – bone development across the lifecourse. *European Cells and Materials*, 22: 321-332. <http://doi:10.22203/ecm.v022a24>.
- Lansford AC, Tibbitts BT, Funston RN. 2021. Effects of maternal late-gestation nutrition on dam and subsequent progeny growth and performance of beef cattle. *Applied Animal Science*, 37(4): 479-489. <https://doi.org/10.15232/aas.2020-02133>.
- Larson DM, Martin JL, Adams DC, Funston RN. 2009. Winter grazing system and supplementation during late gestation influence performance of beef cows and steer progeny. *Journal of Animal Science*, 87: 1147-1155. <http://doi:10.2527/jas.2008-1323>.
- Long NM, Tousley CB, Underwood KR, Paisley SI, Means WJ, Hess BW, Du M, Ford SP. 2012. Effects of early- to mid-gestational undernutrition with or without protein supplementation on offspring growth, carcass characteristics, and adipocyte size in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 90: 197-206. <http://doi:10.2527/jas.2011-4237>.

- Long NM, Vonnahme KA, Hess BW, Nathanielsz PW, Ford SP. 2009. Effects of early gestational undernutrition on fetal growth, organ development, and placentomal composition in the bovine. *Journal of Animal Science*, 87: 1950-9. <http://doi:10.2527/jas.2008-1672>.
- López Valiente S, Rodríguez AM, Long NM, Quintans G, Miccoli FE, Lacau-Mengido IM, Maresca S. 2021a. Age at first gestation in beef heifers affects fetal and postnatal growth, glucose metabolism and IGF-1 Concentration. *Animals* 11: 3393. <http://doi:10.3390/ani11123393>.
- López Valiente S, Rodríguez AM, Long NM, Lacau-Mengido IM, Maresca S. 2021b. The degree of maternal nutrient restriction during late gestation influences the growth and endocrine profiles of offspring from beef cows. *Animal Production Science*. <http://doi:10.1071/AN20527>.
- López Valiente S, Maresca S, Rodríguez AM, Long NM, Quintans G, Palladino RA. 2019. Effect of protein restriction during mid-to late gestation of beef cows on female offspring fertility, lactation performance and calve development. *EC Veterinary Science* 4.10: 01-12. <http://doi:10.31080/ecve.2019.04.00186>.
- López Valiente S, Maresca S, Rodríguez AM, Palladino RA, Lacau-Mengido IM, Long NM, Quintans G. 2017. Effect of protein restriction of Angus cows during late gestation: Subsequent reproductive performance and milk yield. *The professional Animal Science* 34: 261-268. <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01701>.
- Maresca S, Valiente SL, Rodríguez AM, Pavan E, Quintans G, Long NM. 2020. Late-gestation protein restriction negatively impacts muscle growth and glucose regulation in steer progeny. *Domestic Animal Endocrinology* 69: 13-18. <http://doi:10.1016/j.domaniend.2019.01.009>.
- Maresca S, Valiente SL, Rodríguez AM, Testa LM, Long NM, Quintans G, Enrique P. 2019. The influence of protein restriction during mid- to late gestation on beef offspring growth, carcass characteristic and meat quality. *Meat Science* 153: 103-108. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.014>.
- Maresca S, Lopez Valiente SO, Rodríguez AM, Long NM, 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. <http://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.04.009>.
- Martin JL, Vonnahme KA, Adams DC, Lardy GP, Funston RN. 2007. Effects of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *Journal of Animal Science*, 85: 841. <http://doi:10.2527/jas.2006-337>.
- Martínez M, Otal J, Ramírez A, Hevia ML, Quiles A. 2009. Variability in the behavior of kids born of primiparous goats during the first hour after parturition: effect of the type of parturition, sex, duration of birth, and maternal behavior. *Journal of Animal Science*, 87: 1772-7. <http://doi:10.2527/jas.2008-1311>.
- Mayeur S, Lancel S, Theys N, Lukaszewski MA, Deweer SD, Bastide B, Hachani J, Cecchelli R, Breton C, Gabory A, Storme L, Reusens B, Junien C, Vieau D, Lesage J. 2012. Maternal calorie restriction modulates placental mitochondrial biogenesis and bioenergetic efficiency: putative involvement in fetoplacental growth defects in rats. *American Journal of Physiology Endocrinol and Metabolism*, 304: E14-E22. <http://doi:10.1152/ajpendo.00332.2012>.
- Meikle A, Cavestany D, Blanc J, Krall E, Uriarte G, Rodríguez-Irazoqui M, Rupprechter G, Ferraris A, Chilibroste P. 2005. Perfiles metabólicos y endócrinos, parámetros productivos y reproductivos en vacas de leche en condiciones pastoriles. *Veterinaria (Montevideo)* 40 (159-160): 25-40.
- Micke GC, Sullivan TM, Gatford KL, Owens JA, Perry VEA. 2010. Nutrient intake in the bovine during early and mid-gestation causes sex-specific changes in progeny plasma IGF-I, liveweight, height and carcass traits. *Animal Reproduction Science*, 121: 208-217. <http://doi: 10.1016/j.anireprosci.2010.05.017>.
- Mieres JM, Assandri L, Cúneo M. 2004. Tablas de valor nutritivo de alimentos. En: *Guía para la Alimentación de Rumiantes*, INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria), Serie Técnica 142: 13-68.
- Mossa F, Walsh SW, Butler ST, Berry DP, Carter F, Lonergan P, Smith GW, Ireland JJ, Evans CO. 2012. Low numbers of ovarian follicles ≥ 3 mm in diameter are associated with low fertility in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95: 2355-61. <http://doi:10.3168/jds.2011-4325>.

- Myatt L. 2006. Placental adaptative response and fetal programming. *Journal of Physiology*, 572(1): 25-30. [http://doi: 10.1113/jphysiol.2006.104968](http://doi:10.1113/jphysiol.2006.104968).
- Nepomuceno DD, Pires AV, Ferraz MVC, Biehl MV, Gonçalves JRS, Moreira EM, Day ML. 2016. Effect of pre-partum dam supplementation, creep-feeding and post-weaning feedlot on age at puberty in Nelore heifers. *Livestock Science*, 195: 58-62. <http://doi:10.1016/j.livsci.2016.11.008>.
- Noya A, Ripoll G, Casasús I, Sanz A. 2022. Long-term effects of early maternal undernutrition on the growth, physiological profiles, carcass and meat quality of male beef offspring. *Research in Veterinary Science*, 142, 1-11. <http://doi:10.1016/j.rvsc.2021.10.025>.
- Noya A, Casasús I, Ferrer J, Sanz A. 2019a. Effects of developmental programming caused by maternal nutrient intake on postnatal performance of beef heifers and their calves. *Animals* 9, 1072: 1-17. <http://doi:10.3390/ani9121072>.
- Noya A, Casasús I, Ferrer J, Sanz A. 2019b. Long-Term Effects of Maternal Subnutrition in Early Pregnancy on Cow-Calf Performance, Immunological and Physiological Profiles during the Next Lactation. *Animals* 9, 936, 1-17. <http://doi:10.3390/ani9110936>.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition*. (National Academy of Sciences). Reproduction. 50-53.
- Oksbjerg N, Nissen PM, Therkildsen M, Møller HS, Larsen LB, Andersen M, Young JF. 2013. Meat science and muscle biology symposium: in utero nutrition related to fetal development, postnatal performance, and meat quality of pork. *Journal of Animal Science*, 91(3): 1443-1453. <http://doi:10.2527/jas.2012-5849>.
- Oskerby J. 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(1): 89-103. <http://doi:10.1677/joe.0.1820089>.
- Pigurina G, Methol M. 2004. Tabla de contenido nutricional de pasturas y forrajes del Uruguay. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria), Guía para la Alimentación de rumiantes. INIA «La Estanzuela». Serie Técnica 142: 1-80.
- Prezotto LD, Thorson JF, Borowicz PP, Peine JL, Bedenbaugh M, Hileman SM, Lents CA, Caton JS, Swanson KC. 2018. Influences of maternal nutrient restriction and

- arginine supplementation on visceral metabolism and hypothalamic circuitry of offspring. *Domestic Animal Endocrinology*, 65:71-79. <http://doi:10.1016/j.domaniend.2018.06.001>.
- Prezotto LD, Camacho LE, Lemley CO, Keomanivong FE, Caton JS, Vonnahme KA, Swanson KC. 2016. Nutrient restriction and realimentation in beef cows during early and mid-gestation and maternal and fetal hepatic and small intestinal in vitro oxygen consumption. *Animal*, 10: 829-837. <http://doi:10.1017/S1751731115002645>.
- Prezotto, LD, Lemley CO Camacho LE, Doscher FE, Meyer AM, Caton JS, Awda BJ, Vonnahme KA, Swanson KC. 2014. Effects of nutrient restriction and melatonin supplementation on maternal and foetal hepatic and small intestinal energy utilization. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Berl)*, 98: 797-807. <http://doi:10.1111/jpn.12142>.
- Provenza FD, Meuret M, Gregorini P. 2015. Our landscapes, our livestock, ourselves: Restoring broken linkages among plants, herbivores, and humans with diets that nourish and satiate. *Appetite*, 95: 500-519. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2015.08.004>.
- Quintans G, Scarsi A, Roig G, Carriquiry M, Banchemo G. 2015. Influence of a short-term prepartum supplementation on beef cows and calves' performance in pastoral conditions. *Animal Production Science* 56(11): 1913-1919. <http://doi:10.1071/AN15082>.
- Quintans G, Banchemo G, Carriquiry M, López 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: 931-938. <http://doi.org/10.1071/AN10021>.
- Quintans G, Scarsi A, Lopez C, Pereyra F. 2008. Manejo nutricional en el primer invierno y manejos diferenciales para alcanzar similar peso vivo en otoño. Efecto en la aparición de la pubertad (cuarto año de evaluación). En: Seminario de Actualización Técnica (2008, Cría Vacuna, Treinta y Tres). INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria), Serie Técnica 174: 90-109.

- Quintans G, Viñoles C, Sinclair K. 2004. Follicular growth and ovulation in postpartum beef cows following calf removal and GnRH treatment. *Animal Reproduction Science*, 80: 5-14. [http://doi:10.1016/S0378-4320\(03\)00154-4](http://doi:10.1016/S0378-4320(03)00154-4).
- Radunz AE, FL Fluharty, ML Day, HN Zerby, SC Loerch. 2010. Prepartum dietary energy source fed to beef cows: I. Effects on pre and postpartum cow performance. *Journal of Animal Science*, 88: 2717-2728. <http://doi:10.2527/jas.2009-2744>.
- Randel RD. 1990. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *Journal of Animal Science*, 68:853-8621.
- Reynolds LP, Millaway DS, Kirsch JD, Infeld JE, Redmer DA. 1990. Growth and in-vitro metabolism of placental tissues of cows from Day 100 to Day 250 of gestation. *Reproduction*, 89: 213-222. <http://doi:10.1530/jrf.0.0890213>.
- Rhind SM. 2004. Effects of maternal nutrition on fetal and neonatal reproductive development and function. *Animal Reproduction Science*, 82-83: 169-181. <http://doi:10.1016/j.anireprosci.2004.04.003>.
- Ribeiro ARB, Alencar MM de, Costa MJRP da, Negrão JA. 2007. Effects of sire breed-grazing system and environmental parameters on the behaviour of beef calves just after birth. *Applied Animal Behaviour Science*, 107: 198-205. <http://doi:10.1016/j.applanim.2006.10.018>.
- Riley DG, Chase CC, Olson TA, Coleman SW, Hammond AC. 2004. Genetic and nongenetic influences on vigor at birth and preweaning mortality of purebred and high percentage Brahman calves. *Journal of Animal Science*, 82: 1581-1588. <http://doi:/2004.8261581x>.
- Saoi M, Kennedy KM, Gohir W, Sloboda DM, McKibbin PB. 2020. Placental metabolomics for assessment of sex-specific differences in fetal development during normal gestation. *Scientific Reports*, 10: 93-99. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66222-3>.
- Satterfield MC, Edwards AK, Bazer FW, Dunlap KA, Seinhauser CB, Wu1 G. 2021. Placental adaptation to maternal malnutrition. *Reproduction*, 162: R73-R83. <http://doi.org/10.1530/REP -21-0179>.

- Scarsi A, Quintans G. 2013. Seminario de Actualización Técnica: Cría Vacuna (2013, Treinta y Tres) Resultados experimentales. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria), Serie Técnica 208: 89-173.
- Scarsi A. 2012. Efecto de una suplementación corta preparto en variables metabólicas, productivas y reproductivas en vacas multíparas y primíparas para carne. Tesis de Maestría, 1-76. Disponible en: <http://biblioteca.fagro.edu.uy/catalogo.php>.
- Schoonmaker J. 2013. Effect of Maternal Nutrition on Calf Health and Growth. 22nd Tri-State. Dairy Nutrition, 26: 63-80. [http://www.anslab.iastate.edu/Class/AnS536w/18Programming/Maternal nutrition and calf health 2013.pdf](http://www.anslab.iastate.edu/Class/AnS536w/18Programming/Maternal%20nutrition%20and%20calf%20health%202013.pdf).
- Sharma RK, Blair HT, Jenkinson CMC, Kenyon PR, Cockrem JF, Parkinson TJ. 2012. Uterine environment as a regulator of birth weight and body dimensions of newborn lambs. *Journal of Animal Science*, 90: 1338-48. <http://doi:10.2527/jas.2010-3800>.
- Short RE, Bellows RA, Staigmiller R, Berardinelli JG, Custer EE. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*, 68: 799-816. <http://doi:10.2527/1990.683799x>.
- Silveira PP, Portella AK, Goldani MZ, Barbieri MA. 2007. Origens desenvolvimentistas da saúde e da doença (DOHaD). *Jornal de Pediatria*, 83: 494-504. <http://doi:10.2223/JPED.1728>.
- Stalker LA, Adams DC, Klopfenstein TJ, Feuz DM, 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: 2582-2589. <http://doi:10.2527/jas.2005-640>.
- Sullivan TM, Micke GC, Magalhaes RS, Phillips NJ, Perry VEA. 2009. Dietary protein during gestation affects placental development in heifers. *Theriogenology*, 72: 427-438. <http://doi:10.1016/j.theriogenology.2009.03.018>.
- Vonnahme KA, Tanner AR, Hidalgo MAV. 2018. Effect of maternal diet on placental development, uteroplacental blood flow, and offspring development in beef cattle. Proceedings of the 10th International Ruminant Reproduction Symposium (IRRS

- 2018); Foz do Iguaçu, PR, Brasil, September 16th to 20th.
<http://doi:10.21451/1984-3143-AR2018-0050>.
- Waldham G, Hall RF, Delong WJ, Olson DP, Everson DO. 1979. Restricted Dietary Protein in Pregnant Beef Cows: I. The Effects on length of gestation and calf hood mortality. *Theriogenology*, 12: 61-68. [http://doi:10.1016/0093-691x\(79\)90010-4](http://doi:10.1016/0093-691x(79)90010-4).
- Warner JM, Martin JL, Hall ZC, Kovarik LM, Hanford KJ, Rasby PAS RJ. 2011. The effects of supplementing beef cows grazing cornstalk residue with a dried distillers grain based cube on cow and calf performance. *The Professional Animal Scientist*, 27: 540-546. [http://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30536-2](http://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30536-2).
- Wettemann RP, Bossis I. 2000. Energy Intake Regulates Ovarian Function in Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, 77 (suppl_E) 1-10. <http://doi:10.2527/jas2000.77E-Suppl1c>.
- Wilson TB, Schroeder AR, Ireland FA, Faulkner DB, Shike DW. 2015. 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: 4843-4851. <https://doi:10.2527/jas.2014-8805>.
- Wu G, Bazer FW, Wallace JM, Spencer TE. 2006. Intrauterine growth retardation: implications for the animal sciences. *Journal of Animal Science*, 84: 2316-2337. <http://doi:10.2527/jas.2006-156>.
- Zambrano E, Guzmán C, Rodríguez-González GL, Durand-Carbajal M, Nathanielsz PW. 2014. Fetal programming of sexual development and reproductive function. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 382(1): 538-549. <http://doi:10.1016/j.mce.2013.09.008>.
- Zhu MJ, Du M, Hess BW, Means WJ, Nathanielsz PW, Ford SP. 2007. Maternal nutrient restriction upregulates growth signaling pathways in the cotyledonary artery of cow placentomes. *Placenta*, 28: 361-8. <http://doi:10.1016/j.placenta.2006.04.005>.