

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DINÁMICA DE LA ASIGNACIÓN FORRAJERA DURANTE EL ÚLTIMO
TERCIO DE GESTACIÓN Y HASTA EL DESTETE: EFECTO SOBRE
LOS PERFILES ENDÓCRINO-METABÓLICOS DE VACAS DE CRÍA
PRIMÍPARAS Y SUS TERNEROS**

por

Bruno Gastón RAMÍREZ CABRERA

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (MSc. PhD). Andrea Álvarez-Oxiley

Tribunal:

Ing. Agr. (MSc). Soledad Orcasberro

Ing. Agr. (MSc. PhD). Laura Astigarraga

Ing. Agr. (MSc). Ezequiel Jorge Smeding

Fecha:

10 de noviembre de 2023

Estudiante:

Bruno Gastón Ramírez Cabrera

AGRADECIMIENTOS

A mis amadas Victoria y Rosinella por su apoyo y motivación para realizar este trabajo.

A mis padres por darme la oportunidad de estudiar esta maravillosa carrera.

Al Ing.Agr. Ezequiel Jorge Smeding y a la Ing. Agr. PhD Andrea Alvarez-Oxiley por su tesón inconmensurable durante el desarrollo de este trabajo.

A la Ing. Agr. PhD Soledad Orcasberro por su colaboración.

*“Miren lo que este bicho
logró al confiar en sus sueños”*

TABLA DE CONTENIDOS

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
2.1.1. Objetivos Específicos.....	11
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1. ROL DEL CAMPO NATURAL EN LOS SISTEMAS CRIADORES DEL URUGUAY.....	12
3.2. FISILOGIA METABOLICA DE LA VACA DE CRÍA.....	15
3.2.1. Metabolismo glucídico.....	17
3.2.2. Metabolismo Lipídico.....	18
3.2.3. Metabolismo Proteico	19
3.3. PROGRAMACION FETAL.....	20
3.4. FISILOGIA POSNATAL.....	22
3.4.1. Definición De Crecimiento	22
3.4.2. Efecto De La Subnutrición Materna Sobre El Peso Y Metabolismo De Los Terneros	23
3.5. HIPOTESIS.....	25
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.1. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO EXPERIMENTAL	26
4.2. DETERMINACIONES Y MUESTREOS EN LA PASTURA	28
4.2.1 Análisis Químicos.....	28
4.3. DETERMINACIONES Y MUESTREOS EN LOS ANIMALES	29
4.3.1. Colecta Y Mediciones En Las Placentas.....	31
4.3.2. Medidas Corporales En Terneros.....	31
4.3.3. Cálculo del Frame Score	32
4.3.4. Análisis Químicos	33
4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	33
5. RESULTADOS	35
5.1. BIOMASA, ALTURA DE LA PASTURA Y CARGA ANIMAL	35

5.2. RESULTADOS MADRES	37
5.2.1. Consumo Y Dinámica De Cambio Temporal Del Consumo	37
5.2.2. Peso Vivo (Pv) Y Condición Corporal (CC).....	38
5.2.3. Placenta	40
5.2.4 Resultados Endócrino-Metabólicos	40
5.3. RESULTADOS TERNEROS	43
5.3.1. Peso Vivo, Crecimiento Y Frame Score	43
5.3.2. Resultados Endócrino-Metabólicos	44
6. DISCUSIÓN	47
6.1. CARACTERÍSTICAS DE LA PASTURA Y PERFORMANCE ANIMAL	47
6.1.1. Biomasa.....	47
6.1.2. Perfiles De PV Y CC	47
6.1.3. Metabolitos Madres.....	49
6.1.4. Placenta	52
6.1.5. Terneros	55
6.1.6. PV Terneros Nacimiento A Destete.....	56
6.1.7. Competencia Inmunológica	59
7. CONCLUSIÓN.....	61
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Figura N°	Página
Figura 1 Representación esquemática de los factores que inciden sobre la programación placentaria y fetal.....	22
Figura 2 Curva de crecimiento sigmoidea	23
Figura 3 Representación esquemática de los tratamientos de AOF y BOF	27
Figura 4 Diagrama de las medidas corporales o bovinométricas en terneros.....	31
Figura 5 Esquema del cronograma de las determinaciones y muestreos en las vacas gestantes y en los terneros.....	32
Figura 6 Evolución de la biomasa (a), altura de la pastura (b) y carga de pastoreo (c) para el tratamiento de AOF y BOF	36
Figura 7 Efecto del tratamiento sobre el consumo de materia orgánica (CMO) y variación del consumo de materia orgánica (Δ CMO)	37
Figura 8 Efecto del tratamiento nutricional (AOF vs. BOF) sobre los parámetros metabólicos en las vacas	42
Tabla No.	Página
Tabla No. 1. Dinámica de la oferta de forraje durante el experimento	26
Tabla No. 2. Escala de frame score.....	32
Tabla No. 3. Efecto de la dinámica de oferta forrajera sobre variables fenotípicas y metabólicas.....	38
Tabla No. 4. Efecto del tratamiento nutricional sobre parámetros placentarios al parto	40
Tabla No. 5. Efecto del tratamiento nutricional de la madre sobre el peso vivo, crecimiento y kilos destetados de ternero.	43
Tabla No. 6. Efecto del tratamiento nutricional de la madre sobre las medidas morfométricas de los terneros entre el nacimiento y el destete.....	44
Tabla No. 7. Efecto del tratamiento nutricional de la madre sobre los parámetros metabólicos de sus terneros entre el nacimiento y el destete.	45

RESUMEN

Los sistemas ganaderos de Uruguay se sustentan sobre base pastoril, cuya producción fluctúa en cantidad y calidad a lo largo del año. En este contexto, la gestación tardía y el inicio de la lactancia coinciden con períodos donde la producción de forraje merma, lo cual obliga a los animales gestantes a reprogramar la trayectoria de crecimiento intrauterino. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del cambio dinámico en la asignación de forraje en el período comprendido entre el último tercio de gestación y el destete sobre el comportamiento productivo y el metabolismo de vacas primíparas y sus crías pastoreando CN. Para ello se utilizaron dos tratamientos: a) alta oferta de forraje (AOF, 8 kg MS/100 kg PV promedio anual) y b) baja oferta de forraje (BOF, 5 kg MS/100 kg PV). El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt, Cerro Largo, Uruguay. No se observaron efectos del tratamiento sobre los metabolitos maternos, glucosa (3.15 ± 0.06 vs. 3.23 ± 0.07 mmol/L, $P=0.4453$), urea (28.43 ± 0.80 vs. 27.44 ± 0.88 , proteína total (64.11 ± 0.77 vs. 65.68 ± 0.81 , $P=0.1756$), albúmina (30.81 ± 0.39 vs. 31.26 ± 0.41 , $P=0.4300$) g/L, $P=0.4170$), BHB (0.60 ± 0.05 vs. 0.61 ± 0.05 , $P=0.7992$) mM, AOF vs. BOF, respectivamente. Tampoco se observaron efectos del tratamiento sobre los metabolitos de los terneros, glucosa (4.49 ± 0.16 vs. 4.41 ± 0.17 , $P=0.7440$), urea (21.93 ± 0.71 vs. 20.46 ± 0.79 , $P=0.1785$), proteína total (56.48 ± 0.82 vs. 57.68 ± 0.90 , $P=0.3377$), albúmina (33.02 ± 0.45 vs. 33.90 ± 0.49 , $P=0.1966$) g/L, AOF vs. BOF, respectivamente, excepto las inmunoglobulinas (22.16 ± 0.91 vs. 24.91 ± 1.03 , $P=0.0574$) g/L y el BHB (0.10 ± 0.03 vs. 0.24 ± 0.041 , $P=0.0231$) mM, AOF vs. BOF, respectivamente. El PV de los terneros al nacimiento no presentó diferencias significativas, sin embargo, al destete, los terneros de BOF tuvieron un PV 10% mayor que los terneros de AOF. El estudio de las características morfológicas de la placenta indicó que las placentas de BOF presentaron mayor superficie cotiledonaria. La restricción nutricional durante la gestación no afectó significativamente los metabolitos maternos ni de sus crías a excepción de las inmunoglobulinas. Esto podría indicar que el organismo pone en marcha mecanismos metabólicos y placentarios adaptativos de tal forma que los procesos fisiológicos continúen bajo las nuevas condiciones imperantes.

Palabras clave: Campo natural (CN), consumo, vaca de cría, alta oferta de forraje (AOF), baja oferta de forraje (BOF), metabolitos en sangre

ABSTRACT

Uruguay's livestock systems are sustained on a pastoral basis, whose production fluctuates in quantity and quality throughout the year. In this context, late gestation and the beginning of lactation coincide with periods when forage production decreases, which forces pregnant animals to reprogram the intrauterine growth trajectory. The aim of the present work was to study the effect of the dynamic change in forage allocation in the period between the last third of gestation and weaning on productive behavior and metabolism of primiparous cows and their calves, grazing natives pastures. For this, two treatments were used: a) high supply of forage (AOF, last third: decrease from 8 to 4 kg DM / 100 kg LW, calving to weaning: rise from 4 to 12 kg DM / 100 kg LW) and b) low supply of forage (BOF, last third of gestation, was maintained, 4 to 4 kg DM / 100 kg BW, parturition to weaning: rise from 4 to 8 kg DM / 100 kg BW). The trial was carried out at the Bernardo Rosengurt Experimental Station, Cerro Largo, Uruguay. No treatment effects were observed on maternal metabolites, glucose (3.15 ± 0.06 vs. 3.23 ± 0.07 mmol / L, $P = 0.4453$), urea (28.43 ± 0.80 vs. 27.44 ± 0.88 , total protein (64.11 ± 0.77 vs. 65.68 ± 0.81 , $P = 0.1756$), albumin (30.81 ± 0.39 vs. 31.26 ± 0.41 , $P = 0.4300$) g / L, $P = 0.4170$), BHB (0.60 ± 0.05 vs. 0.61 ± 0.05 , $P = 0.7992$) mM, AOF vs. BOF, respectively. Neither treatment effects were observed on the calf metabolites, glucose (4.49 ± 0.16 vs. 4.41 ± 0.17 , $P = 0.7440$), urea (21.93 ± 0.71 vs. 20.46 ± 0.79 , $P = 0.1785$), total protein (56.48 ± 0.82 vs. 57.68 ± 0.90 , $P = 0.3377$), alumina (33.02 ± 0.45 vs. 33.90 ± 0.49 , $P = 0.1966$) g / L, AOF vs. BOF, respectively, except immunoglobulins (22.16 ± 0.91 vs. 24.91 ± 1.03 , $P = 0.0574$) g / L and BHB (0.10 ± 0.03 vs. 0.24 ± 0.041 , $P = 0.0231$) m / M, AOF vs. BOF, respectively. The PV of the calves at birth did not show significant differences, however, at weaning, the BOF calves had a PV 10% higher than the AOF calves. The study of the morphological characteristics of the placenta indicated that the BOF placentas had a greater cotyledonary surface. Nutritional restriction during pregnancy did not significantly affect maternal metabolites or their offspring, except for immunoglobulins. This could indicate that the body starts up adaptive metabolic and placental mechanisms in such a way that physiological processes continue under the new prevailing conditions.

Keywords: Natural field (NF), consumption, breeding cow, high forage supply (HFS), low forage supply (LFS), blood metabolites

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina es un rubro dinámico que constituye una de las actividades económicas más importantes de nuestro país, siendo las exportaciones de carne el 27 % de las exportaciones nacionales en 2019 (Uruguay XXI, 2019). En torno al 86 % de la superficie agropecuaria del país está dedicada a la actividad ganadera, donde el recurso forrajero predominante es el campo natural (CN) representando un 88% de la superficie destinada a la ganadería (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2019). A su vez, dentro de la ganadería la mayor parte de esta superficie (8,2 millones de ha) y de los establecimientos están representados por sistemas exclusivamente criadores —aquellos que se dedican a la producción y comercialización de terneros— ocupando el 51% del área agropecuaria nacional y el 55% de las empresas especializadas en ganadería (DIEA, 2019).

En estos sistemas, una parte importante de los establecimientos realizan servicios reproductivos de verano, entre fines de diciembre a mediados de febrero, lo que determina que el nacimiento del ternero ocurra durante la época de mayor cantidad y calidad de forraje del CN (setiembre-octubre). Sin embargo, este calendario reproductivo también implica que las madres gestantes se encuentren en gestación avanzada (último tercio) durante el invierno (junio-julio-agosto), momento en que la disponibilidad y calidad de forraje del CN es baja y los requerimientos nutricionales de las vacas gestantes son mayores debido al crecimiento fetal. Así, cuando la gestión del pastoreo no es la adecuada, las vacas cursan su último tercio de la gestación en condiciones de subnutrición, lo que se refleja en una baja condición corporal (CC) al parto y determina largos períodos de anestro posparto, baja tasa de preñez y un bajo % de destete a nivel nacional (en torno a 64 terneros destetados/100 vacas servidas). En este sentido, se ha propuesto como alternativa, el manejo de la oferta forrajera del CN (OF; kg MS/ kg PV) de manera dinámica a lo largo del año a través del ajuste estacional de la carga (kg PV/ha). Así mismo, el manejo de la OF a través de un esquema de carga variable puede ser utilizada no solo para favorecer el consumo de materia seca (CMS) sino también aumentar el crecimiento de la pastura y mejorar la composición del tapiz botánico y su estructura.

Por ello, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del cambio dinámico en la asignación de forraje en el período comprendido entre el último tercio de gestación y el destete sobre la respuesta productiva y el metabolismo de vacas primíparas y sus crías pastoreando CN. Para ello se utilizaron dos tratamientos: a) alta oferta de forraje (AOF, 8 kg MS/ 100 kg PV promedio anual) y b) baja oferta de forraje (BOF, 5 kg MS/ 100 kg PV promedio anual). La hipótesis de este trabajo fue que las vacas en AOF tendrían mejor CC al parto y mejor estatus metabólico, y que destetarían más kilos de terneros que sus contrapartes de BOF. A su vez, los terneros nacidos en AOF tendrían mayor PV y mejor estatus metabólicos que aquellos en BOF.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del cambio dinámico en la asignación de forraje en el período comprendido entre el último tercio de gestación y el destete sobre el comportamiento productivo y el metabolismo de vacas primíparas y sus crías pastoreando CN. Vale aclarar que el siguiente trabajo es una profundización de los aspectos metabólicos en relación con la tesis de Orcasberro (2017).

2.1.1. Objetivos Específicos

Se detallan a continuación los principales objetivos específicos:

Cuantificar en vacas y terneros metabolitos sanguíneos (glucosa, urea, proteína total, albúmina, colesterol, ácidos grasos no esterificados (AGNE) y beta hidroxibutirato) mediante la técnica de espectrofotometría.

Cuantificar en vacas y terneros la concentración de insulina en plasma mediante la técnica de Radioinmunoensayo.

Determinar en los terneros medidas morfométricas desde el nacimiento al destete y calcular el “*frame score*”.

Estudiar la existencia de mecanismos macro anatómicos compensatorios en las placentas a término.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. ROL DEL CAMPO NATURAL EN LOS SISTEMAS CRIADORES DEL URUGUAY

La producción de carne en Uruguay está basada en el pastoreo directo del CN, el cual representa una asociación de especies herbáceas de altísima complejidad y heterogeneidad (Carámbula, 1991), que ocupa la mayor proporción del área productiva del país (64 % de la superficie productiva nacional) (DIEA, 2015). El CN uruguayo, que junto con los pastizales del noreste de Argentina y sur de Brasil constituye uno de los pastizales más extensos del mundo (Carvalho et al., 2011), representa la principal fuente de alimento para la ganadería vacuna y ovina del Río de la Plata (Berretta et al., 2000; Soca, Espasandin, et al., 2013). A su vez, la alta diversidad de suelos del Uruguay determina, en gran medida, la regionalización productiva. En este sentido, los sistemas criadores se encuentran generalmente marginados al CN desarrollado sobre los suelos de menor potencial productivo (Rovira, 1996), de manera que la cría vacuna se concentra particularmente en el cristalino de las *Sierras del Este* y noreste, así como sobre el *basalto* del norte.

El papel principal que tiene el CN en el desarrollo de la ganadería nacional determina que la cadena cárnica esté altamente influenciada por las variables edafoclimáticas dado que la respuesta animal está determinada por la variabilidad cualitativa y cuantitativa de los recursos forrajeros disponibles (Rovira, 1996). En este sentido, la tasa de crecimiento del CN está afectada por la ocurrencia de déficits hídricos (sequías) y, en menor medida, la variabilidad en la temperatura (Berretta et al., 2000). Así, la curva de producción de forraje del CN se caracteriza por presentar picos de producción durante la primavera-verano y el otoño (Soca et al., 2007), una disminución marcada de la disponibilidad en invierno y una caída de la calidad en verano (Berretta et al., 2000; Rovira, 1996; Soca & Orcasberro, 1992).

Sin embargo, la utilización del CN ha sido un elemento clave para el desarrollo económico del país y durante más de 200 años se ha practicado el pastoreo mixto de vacunos y lanares, generalmente bajo un esquema de pastoreo continuo y una alta carga animal (Rovira, 1996). Históricamente se ha postulado

que el esquema de pastoreo continuo ha conducido a la degradación del tapiz vegetal y a la disminución de las especies de mayor valor agronómico (menor presencia de especies C3, invernales) (Berretta et al., 2000; Carámbula, 1991). Este proceso de suplantación de las especies *tiernas* y *finas* por especies ordinarias y malezas ha conducido asimismo a una mayor estacionalidad en la producción forrajera (Rovira, 1996). Sin embargo, en la actualidad se ha identificado que el problema de la degradación del tapiz botánico está dado por el sobrepastoreo y no por el hecho de realizarse un pastoreo continuo en sí mismo, de manera que durante los últimos años se ha propuesto la gestión flexible de la oferta forrajera OF a través del ajuste de la carga en sistemas de pastoreo continuo como una herramienta para promover una mayor productividad del CN y una mejor estructura del mismo que permita aumentar el CMS y la respuesta productiva y reproductiva de los rodeos de cría (Do Carmo et al., 2019; Soca, Espasandin, et al., 2013).

La variabilidad cualitativa y cuantitativa de la disponibilidad forrajera a lo largo del año y entre años afecta el CMS (Soca et al., 2007), observándose períodos de déficits forrajero principalmente en invierno, momento en el cual las vacas se encuentran en gestación avanzada o inicio de lactancia (Simeone & Soca, 1998) y donde los requerimientos de mantenimiento aumentan entre un 25 a 30 % (Rovira, 1996; Soca & Orcasberro, 1992). Como consecuencia, los animales finalizan la gestación en condiciones de subnutrición y entran en un estado de balance energético negativo (BEN) (Soca et al., 2007). Esto explica el pobre estatus energético al parto y al inicio del servicio reproductivo, el largo de anestro postparto, la baja probabilidad de preñez y el bajo peso de los terneros al destete (Astessiano et al., 2012). Frente al desafío que implica la baja tasa de crecimiento y disponibilidad del CN durante el invierno, el control de la OF a través del manejo de la carga de pastoreo (kg PV/ha) antes mencionado emerge como una herramienta de manejo que permite mejorar el CMS (Soca, Carriquiry, Do Carmo, et al., 2013).

En efecto, la OF relaciona la cantidad de forraje y la carga animal, de manera que es una herramienta útil para regular los procesos de crecimiento de forraje y su utilización por parte de los herbívoros y por lo tanto de gran relevancia en ambientes con alta variabilidad en la producción de forraje a lo largo del año (Soares et al., 2003). Varios trabajos nacionales y de la región reportan una mejora en el CMS y

un aumento de la producción mediante una gestión flexible de la OF a lo largo del ciclo (gestación-lactación) a través del manejo de la carga animal (Do Carmo et al., 2019; Nabinger et al., 2000; Sollenberger et al., 2005). Es decir, esta herramienta de manejo es útil para controlar el desacople entre requerimientos y consumo (Soca, Carriquiry, Do Carmo, et al., 2013) ya que permite sincronizar los requerimientos energéticos del rodeo con el patrón de producción de forraje (Funston et al., 2016).

Brevemente, experimentos iniciales realizados sobre pasturas naturales del bioma Campos de la región, trabajaron sobre OF fijas a lo largo de todo el año reportándose que el incremento de la OF de 4 a 12 % mejoró la productividad forrajera en un 100 % y un 86 % de la producción de carne (78 a 145 kg carne/ha/año) observándose las mayores producciones de forraje cuando la OF estuvo entre 8 y 13 % (Moojen & Maraschin, 2002; Nabinger et al., 2000). A su vez, Soares et al. (2005) reportaron que estrategias de manejo que combinaron OF entre 8 y 12 % a lo largo del año estuvieron asociadas a un incremento del 35 % en el desempeño productivo individual de los animales y un aumento del 20 % de la productividad por unidad de superficie (kg de carne/ha) en comparación con una OF al 12 % fija anual. Resultados similares fueron reportados por Piaggio (1994) en experimentos con novillos en engorde.

Más recientemente, se han llevado a cabo experimentos de mediano y largo plazo que evalúan el efecto de la OF variable a lo largo del año. En uno de ellos se evaluó el efecto de la OF (2.5 vs. 4 Kg MS/100 Kg PV promedios anuales) y el genotipo animal (razas británicas puras vs. cruza F1). Como resultado, se encontró que el tratamiento de alta (4 Kg MS/100 Kg PV promedio anual) presentó una mayor productividad forrajera anual por unidad de superficie (+ 63 % MS/ha) asociado a una mayor tasa de crecimiento del CN (+21 % MS/h/día). A su vez, las vacas presentaron una mejor CC y una mayor tasa de destete (+6%) y PV de los terneros al destete (+15 kg) (Do Carmo, 2013; Scarlato, 2011; Soca, Carriquiry, Do Carmo, et al., 2013). Así mismo, en otro experimento similar realizado en el norte del Uruguay, también se reportó que en el tratamiento de mayor OF las vacas tuvieron una mejor CC al final del otoño y al parto (final de invierno), mayores PV de los terneros a los 205 días y una disminución del intervalo parto-concepción, así como un incremento en la probabilidad de preñez (Claramunt, 2015).

Parte de estos resultados positivos (mejor CC al parto, mejor comportamiento reproductivo) asociados a una mayor OF podrían estar dados por respuestas del animal diferidas en el tiempo. Es decir, el efecto del ambiente nutricional no solo afecta la respuesta de corto plazo sino también en el mediano plazo. Dicho de otro modo, la respuesta animal de corto plazo durante el estado de BEN, no depende solo del balance entre los nutrientes requeridos y consumidos en ese momento, sino, además, de la historia nutricional previa —*memoria metabólica*—. Así, en la actualidad se sabe que el ambiente nutricional afecta al animal no solo en el corto plazo, sino también que determina las condiciones en las que llega a las siguientes etapas fisiológicas. De este modo, buenos niveles de reservas corporales al final del otoño permiten a la vaca llegar al parto con una mayor cantidad de reservas corporales (Claramunt et al., 2019). El estado nutricional puede ser evaluado a través de la CC, que refleja el nivel de reservas corporales (Wright et al., 1987). Se ha demostrado que la asignación de forraje durante el otoño-invierno afecta la evolución de la CC de las vacas de cría durante la gestación avanzada observándose que vacas adultas y primíparas que llegan al parto con 4 y 4.5 puntos de CC respectivamente, aumentan la probabilidad de preñez en torno al 25% (Soca & Orcasberro, 1992).

En condiciones normales, el CN tiene en otoño un pico de producción de pasto que aportaría alimento suficiente para mejorar la CC y permitir que las vacas nulíparas y multíparas lleguen al invierno con una CC de 6 y 5. Es decir, la entrada al invierno con un buen nivel de reservas corporales ($CC > 5$), les permite a las vacas atravesar la subnutrición invernal con mayores recursos y por lo tanto disminuir las consecuencias productivas y reproductivas (Arias, 2016).

3.2. FISILOGIA METABOLICA DE LA VACA DE CRÍA

Se entiende por homeostasis al conjunto de procesos de regulación que tienen los organismos y que están dirigidos a mantener dentro de ciertos límites su medio interno, ejemplo de esto puede ser la temperatura corporal. Por otra parte, la homeorresis es el conjunto de modificaciones coordinadas del metabolismo de los tejidos y flujos de nutrientes que se ponen en marcha para sostener una función

fisiológica determinada, por ejemplo, la lactancia (Bauman & Currie, 1980). En situaciones de alto desafío metabólico, el organismo combina los procesos homeostáticos (para mantener las variables vitales en rangos estables) y los homeorréticos (para hacer frente a los cambios en los requerimientos y en el flujo dinámico de nutrientes asociado al transcurso de distintos estados fisiológicos). En el caso de las vacas nulíparas cursando su primera gestación, el manejo durante el último tercio de gestación y la lactancia es crítico ya que este animal debe continuar con su crecimiento (desarrollo estructural y ganancia de peso corporal) al tiempo que sostener las demandas de la cría (Pritchard, s.f.).

La concentración de ciertos metabolitos es usada usualmente como información objetiva y confiable para evaluar el estado nutricional del ganado (Ndlovu et al., 2007), dado que muchos de estos censan el estado nutricional y determinan la respuesta fisiológica del animal (Soca, Carriquiry, Do Carmo, et al., 2013). La transición entre el estado de preñez avanzada y el inicio de la lactancia (estado no gestante) supone drásticos cambios endócrino-metabólicos en la vaca (Bell, 1995; Meikle et al., 2005). En este momento, y como consecuencia de la etapa final de crecimiento fetal (último tercio de gestación) (Bell, 1995) e inicio de la síntesis láctea, los animales experimentan un incremento en los requerimientos de glucosa, aminoácidos y ácidos grasos que no logran ser provistos totalmente por el CMS (Astessiano et al., 2012; Bell, 1995; Soca et al., 2007), por lo que los animales entran en un estado de BEN (Laporta et al., 2014; Quintans et al., 2010).

Como consecuencia, durante el BEN los animales experimentan un estado catabólico y movilizan reservas corporales (lipólisis y proteólisis) a los efectos de obtener fuentes de energía y sustratos neoglucogénicos, observándose a nivel macroscópico una pérdida de CC (Bauman & Currie, 1980; Houghton et al., 1990; Sinclair et al., 2002). Este proceso de BEN ocurre en todas las hembras gestantes en torno a la transición, sin embargo, tiene un mayor impacto en los animales primíparas puesto que además de estar gestantes aún están creciendo y por lo tanto presentan requerimientos extras asociados a su propio crecimiento (Grimard et al., 1995).

3.2.1. Metabolismo glucídico

La concentración de glucosa en sangre (glucemia) es una de las variables más controladas a nivel homeostático dado que tiene un rol fundamental en el metabolismo energético de los animales (Bjerre-Harpøth et al., 2012). Dentro del control homeostático de la glucosa, la insulina juega un importante rol endócrino ya que participa en la utilización de la glucosa en los tejidos periféricos y su concentración plasmática está asociada positivamente con la ingestión de energía (Chilliard et al., 1998). Específicamente, la insulina es una hormona anabólica, es decir, promueve la utilización de la glucosa y otros nutrientes a nivel de los tejidos periféricos, favoreciendo la síntesis lipídica y proteica, situación típica en estados de balance energético positivo (Cirio & Tebot, 1998). Contrariamente, durante el BEN, disminuye la concentración plasmática de insulina (Lucy, 2008) y aumenta la de la hormona de crecimiento (GH) lo que conduce a un estado de resistencia a la insulina, permitiendo que exista una mayor disponibilidad para aquellos tejidos cuya utilización de la glucosa no es dependiente de la insulina (por ejemplo: útero grávido, glándula mamaria) (McCarthy et al., 2010).

Trabajos nacionales que estudiaron el efecto de la asignación de forraje de CN en vacas de razas carniceras han reportado una caída de la concentración plasmática de glucosa e insulina durante el último tercio de gestación manteniéndose en niveles similares en torno al parto (Astessiano et al., 2014) o aumentando levemente durante el postparto temprano (Laporta et al., 2013). A su vez, Astessiano et al. (2014) reportaron que las vacas con menor CC tuvieron un mayor aumento de la concentración de la insulina a partir de los 7 días post parto (DPP) asociado a una mayor recuperación de la CC, menor producción de leche y menores ganancias de PV en los terneros en comparación a las vacas que llegaron al parto con mejor CC. Sin embargo, la suplementación energética de vacas primíparas pastoreando CN mejora su estatus metabólico, lo que se ve reflejado en una mayor concentración plasmática de insulina y glucosa, un incremento en la producción de leche y mayores ganancias de PV en los terneros (Clariget et al., 2016).

3.2.2. Metabolismo Lipídico

La movilización del tejido adiposo que ocurre durante la transición, como consecuencia del BEN (Quintans et al., 2009), conduce a la lipólisis de los triacilglicéridos obteniéndose ácidos grasos no esterificados (AGNE, por su sigla en inglés) y glicerol. Así, durante el BEN los animales experimentan un incremento en la concentración plasmática de AGNE (Kessel et al., 2008) que son utilizados a nivel hepático donde su oxidación conduce a la síntesis de cuerpos cetónicos (Cirio & Tebot, 1998). Dentro de los cuerpos cetónicos, el β -hidroxibutirato (BHB) es la sustancia más importante y por lo tanto la movilización de reservas corporales, a través de la metabolización hepática de los AGNE, conduce a un aumento de la concentración plasmática de BHB (Meikle et al., 2004). El BHB, al igual que el resto de los cuerpos cetónicos, se sintetizan a partir del acetyl-CoA y puede ser utilizado como substrato energético o durante la lipogénesis en la glándula mamaria (Cirio & Tebot, 1998).

En vacas de carne, la concentración plasmática de AGNE suele estar elevada durante el último tercio de gestación disminuyendo luego del parto (Astessiano et al., 2014; Laporta et al., 2013). A su vez, la capacidad de movilización de reservas corporales está afectada positivamente por la CC de los animales. Las mayores CC usualmente están asociadas a un mayor incremento de concentración de AGNE durante el BEN (Astessiano et al., 2014). A su vez, el incremento de la concentración de AGNE durante la gestación invernal, está asociado a una caída en la concentración de glucosa e insulina en vacas pastoreando CN, independientemente de la oferta forrajera a la cual estuvieran sometidos los animales (Laporta et al., 2013).

A su vez, en las vacas primíparas generalmente se observan mayores pérdidas de CC y concentraciones plasmáticas de AGNE y BHB más altas en comparación con vacas multíparas, lo que pone de manifiesto un estatus metabólico más pobre en las primeras (Meikle et al., 2004). Sin embargo, la suplementación energética durante 21 días previo al servicio reproductivo (*flushing*) disminuye la movilización de tejido adiposo lo que se refleja en menores concentraciones plasmáticas de AGNE (Clariget et al., 2016).

3.2.3. Metabolismo Proteico

Durante el BEN, los animales no solamente movilizan tejido adiposo, sino que también existe movilización del músculo esquelético (proteína lábil). El estado de resistencia a la insulina determina que disminuya el anabolismo proteico a nivel muscular y aumente la movilización de proteína lábil, de manera que los animales sufren un estado de catabolismo de los aminoácidos (van der Drift et al., 2012). Así, la movilización de proteína lábil conduce a un aumento de la disponibilidad de AA a nivel hepático tanto para su utilización como precursores de la neoglucogénesis (AA neoglucogénicos) como para el sostén del ciclo del ácido cítrico (rol anaplerótico) (Bell & Bauman, 1997).

Como consecuencia del catabolismo de los AA, se obtiene amonio que es detoxificado a nivel hepático en el ciclo de la urea. A su vez, la concentración de urea también está afectada por el aporte proteico de la dieta (Baker et al., 1995; Roseler et al., 1993) y la relación energía/proteína a nivel ruminal (Wittwer, 1996). En condiciones de CN, Soca, Carriquiry, Claramunt, et al. (2013) ha observado un aumento en la concentración de urea plasmática en vacas primíparas durante el BEN y se ha sugerido que picos de urea en sangre durante las primeras semanas posparto podrían estar asociados a la movilización proteica (Adrien et al., 2012). En efecto, Soca, Carriquiry, Claramunt, et al. (2013) sugieren que las mayores concentraciones de urea observadas en los animales con menor CC podrían ser consecuencia de una mayor movilización de músculo esquelético en esas vacas en comparación con aquellas de mayor CC (y por lo tanto mejor estatus energético).

Por otra parte, las proteínas totales (PT) representan la suma de albúminas y globulinas (Wittwer, 1983). Según Blum et al. (2000), un nivel adecuado de PT indica un correcto estado nutricional de la vaca, mientras que disminuciones de PT en suero se asocian a situaciones de subnutrición (Rodríguez et al., 1985). Soca, Carriquiry, Claramunt, et al. (2013), en el trabajo antes mencionado, reportaron un aumento de las concentraciones de PT en torno al parto. Por otra parte, Meikle et al. (2013), en un trabajo en vacas lecheras en pastoreo, reportaron menores niveles de PT en los animales asignados a las dietas más restrictivas, posiblemente como consecuencia de un menor consumo. A su vez, en vacas multíparas, se ha

demostrado que la PT en animales sometidos a planos nutricionales deficientes, se mantiene constante en condiciones nutricionales de alta (Adrien et al., 2012).

Dentro de las proteínas séricas, la albúmina es la que se encuentra en mayor concentración en el plasma sanguíneo, es sintetizada en el hígado a partir de AA y por lo tanto es un reflejo de la habilidad del animal para sintetizar proteínas (Sykes, 1978; Topps & Thompson, 1984). A su vez, dado la alta tasa de renovación de la albúmina, es un indicador nutricional muy sensible y precoz del estado proteico del animal (Ndlovu et al., 2007). Los perfiles de PT y albúmina plasmática están asociados a la funcionalidad hepática (Piccione et al., 2012). Soca, Carriquiry, Claramunt, et al. (2013) reportaron que en vacas primíparas Hereford la albumina aumentó previo al parto bajando luego de este. En ganado lechero se ha observado que durante el parto el nivel de albumina disminuye (Rowlands et al., 1980) o se mantiene relativamente constante (Piccione et al., 2012) y se ha propuesto que estaría asociado a la depresión del CMS que ocurre durante la etapa de transición (Adrien et al., 2012; Cavestany et al., 2005; Pereira et al., 2010).

3.3. PROGRAMACION FETAL

La trayectoria del crecimiento prenatal está directamente influenciada por la ingesta de alimento de la madre. La sobre o subnutrición, incluso en las primeras etapas de la gestación, cuando los requerimientos energéticos son insignificantes, puede reprogramar el desarrollo fetal (Robinson et al., 1999). En la actualidad se sabe que la “*programación fetal*” tiene consecuencias en el desarrollo posnatal del ternero afectando su futuro comportamiento productivo y reproductivo (Caton & Hess, 2010). Wu et al. (2006) reportaron que la subnutrición materna en bovinos estuvo asociada a un retraso del crecimiento postnatal, reducida eficiencia alimenticia y baja calidad de carne.

David Barker, médico investigador inglés, acuñó el término “*fenotipo ahorrativo*” a partir de un estudio realizado en 1989 en el que analizó el destino de más de 5.600 hombres nacidos entre 1911 y 1930, en época de hambruna en seis distritos de Hertfordshire, en el sur de Inglaterra (Barker et al., 1989). Este estudio reporta que los individuos que durante el parto y el primer año de vida tuvieron un

peso más bajo de adultos presentaron una tasa de mortalidad por cardiopatía isquémica más elevada. De este estudio también se desprende que la restricción nutricional materna conlleva a cambios en el desarrollo intrauterino que confieren una ventaja de supervivencia inmediata a la descendencia, asumiendo que el ambiente prenatal es indicativo del consiguiente ambiente post natal.

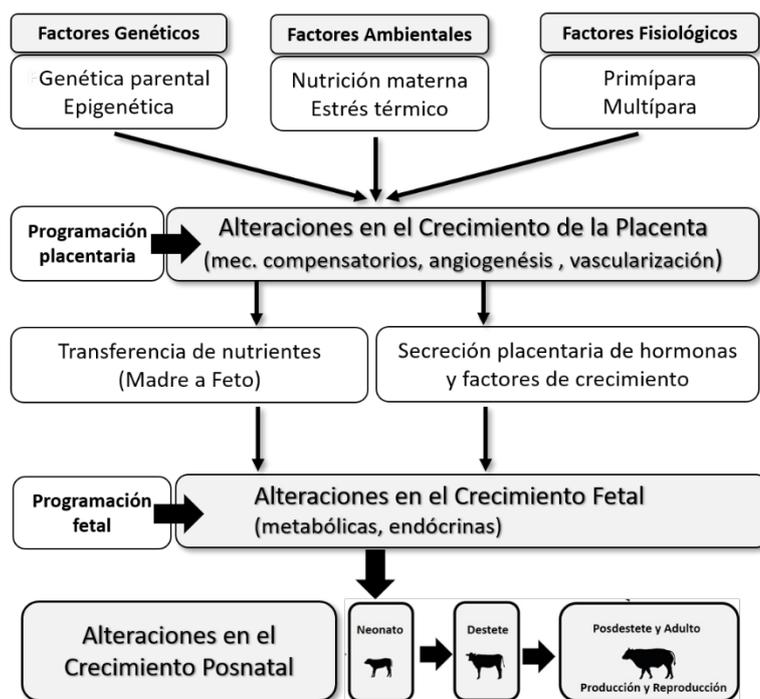
La hipótesis indica que la descendencia que nace de ambientes intrauterinos nutricionalmente restringidos podría tener una ventaja competitiva si nacen en el posparto en ambientes que también son limitantes de nutrientes. Los hallazgos del Dr. Barker posibilitaron la comprensión de la influencia ambiental sobre el desarrollo prenatal y sus implicancias en la vida adulta. En tal sentido, estudios posteriores revelaron que la reprogramación del crecimiento intrauterino está asociada a alteraciones en los mecanismos que regulan la expresión génica, sin que haya una modificación en la secuencia del ADN (epigenética) asociados a cambios en el ambiente, como la nutrición. La posibilidad de que la información epigenética sea transmitida entre generaciones constituye uno de los focos de estudio del campo de la epigenética (Stevenson et al., 2020). En cualquier caso, la transmisión de estas modificaciones epigenéticas tendría por objetivo permitir a las generaciones siguientes sobrevivir en un ambiente potencialmente adverso (Vickers, 2014).

Caton y Hess (2010) trasladaron el término “*fenotipo ahorrativo*” relacionándolo con los animales productivos. Dichos autores postularon que la restricción nutricional materna podría ser el estímulo para alterar de forma compensatoria, la vascularización, el desarrollo y la funcionalidad de la placenta, dando como resultado pesos fetales similares entre vacas restringidas nutricionalmente y vacas control, en el día 250 de gestación.

En efecto, desde un punto de vista nutricional, la placenta actúa como mediador entre el compartimento materno y el fetal, asegurando un flujo de nutrientes de la madre al feto. La alteración del tamaño y normal funcionamiento de la placenta (Figura 1) impacta en el flujo sanguíneo uteroplacentario afectando la transferencia de nutrientes y oxígeno de la madre al feto, actuando sobre la programación fetal a través de la modificación de los mecanismos implicados en la expresión génica del feto (epigenética) (Wu et al., 2006).

Figura 1

Representación esquemática de los factores que inciden sobre la programación placentaria y fetal



Nota. Adaptado de Wu et al. (2006).

3.4. FISILOGIA POSNATAL

3.4.1. Definición De Crecimiento

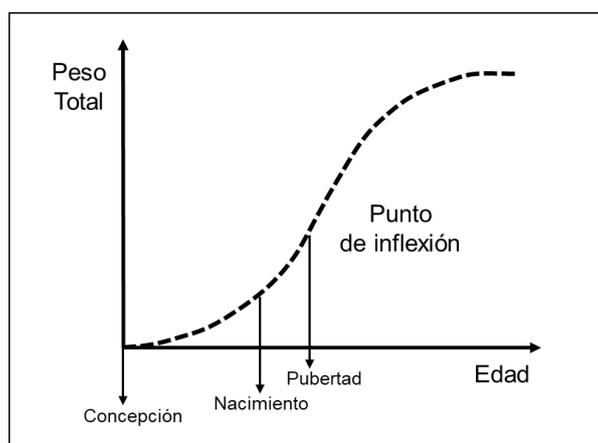
El crecimiento (PV en función de edad) de los terneros sigue una curva sigmoidea (Bavera et al., 2005; Owens et al., 1993) (Figura 2). Así, se distinguen tres etapas: a) concepción a nacimiento, b) nacimiento a pubertad, c) a partir de la pubertad.

En la etapa intrauterina, el aumento del peso es prácticamente lineal, si bien el último tercio de la gestación presenta una mayor tasa de crecimiento. Posteriormente, se observa una elevada tasa de crecimiento desde el nacimiento hasta la pubertad, momento donde se observa un punto de inflexión en la curva de crecimiento a partir del cual el potencial de crecimiento disminuye y el peso se

estabiliza hasta alcanzar la madurez. Bavera et al. (2005) menciona que una alta velocidad de crecimiento está asociada no solamente al peso de faena a una edad temprana, sino también a la aptitud para la reproducción precoz (lo que determina un incremento de la eficiencia productiva del sistema), una de las limitantes del sistema criador uruguayo.

Figura 2

Curva de crecimiento sigmoidea



Nota. Adaptado de Bavera et al. (2005).

Adicionalmente a la información aportada por la evolución del PV de los animales, se ha propuesto el uso del *Frame Score* (FS). Este parámetro describe numéricamente el tamaño del animal en relación con su edad. El mismo puede variar en una escala entre 2 y 9, y se calcula a partir de una combinación de altura de la cadera (LPT) y la edad del animal (Reed et al., 2017). El FS se utiliza para estimar el patrón de crecimiento y el potencial tamaño maduro de los terneros. Puntajes bajos de FS se asocian a animales de baja estatura para su edad que tienden a madurar temprano y llegan a la faena con PV más livianos y con mayor engrasamiento (Di Marco, 2004; Duckett et al., 2014; Vargas et al., 1999).

3.4.2. Efecto De La Subnutrición Materna Sobre El Peso Y Metabolismo De Los Terneros

El peso al nacimiento (PN) es el primer indicador del potencial de crecimiento del ternero y este se ve influenciado tanto por el efecto individual del

ternero como por el efecto materno (Dañobeytia et al., 2015). Vaccaro y Dillard (1966), como se cita en Cantet (1983), reporta que el PN afecta de forma significativa el peso al destete como consecuencia de que los terneros de mayor peso al nacimiento tienen mayores ganancias durante la etapa lactante. Son diversos los factores que pueden afectar el PN, entre ellos, la raza, el efecto materno y el sexo. En cuanto al efecto materno, el PN de terneros de madres primíparas es en promedio 10 a 15 % menor que los nacidos de madres múltiparas como consecuencia de que durante la gestación las vacas primíparas aún están creciendo y por lo tanto compiten con el feto por los nutrientes (Wu et al., 2006). Como se mencionó previamente, el crecimiento intrauterino tiene gran importancia en el desarrollo posnatal del animal, ya que las crías de madres mal alimentadas son, en promedio, más livianas al nacer que las crías de madres bien alimentadas y esto luego repercute en el crecimiento posnatal (Bavera et al., 2005).

Bajo los principios de programación fetal expuestos precedentemente, el peso al destete está influenciado por el ambiente materno, principalmente en relación a la nutrición que recibe la madre en el último tercio de gestación (Cantet, 1983). Asimismo, Rovira (1996) menciona que el peso al destete (PD) de los terneros constituye un buen criterio para juzgar la capacidad criadora de las vacas, ya que también es una característica muy relacionada a la producción de leche materna. Al igual que el PN, el PD también está influenciado por el efecto materno, observándose que alrededor del 50% de la variación en el PD de los terneros a los 6 meses de edad se explica por la variación en el consumo de leche (Rovira, 1996).

A nivel nacional, se ha reportado que la OF durante la gestación no tiene efecto sobre el PN pero sí sobre el PD observándose mayores PD en los tratamientos de AOF, posiblemente como una consecuencia de una mayor producción de leche en las madres (Gutiérrez et al., 2012; San Julián et al., 2015). A su vez, se ha reportado que la OF durante la gestación afecta el estatus metabólico de los terneros al nacimiento. Gutiérrez et al. (2012) reportan en un trabajo realizado en vacas múltiparas gestantes pastoreando 2 ofertas diferentes de CN (2.5 vs. 4 kg MS/kg PV) que al nacimiento, los terneros de AOF presentaron mayores concentraciones de glucosa y menores de PT que los de BOF. En relación a la insulina, los terneros

de AOF tuvieron menores concentraciones de insulina al nacimiento, pero mayores al destete que los terneros de BOF.

A su vez, la subnutrición gestacional puede determinar un incremento en la concentración sérica de inmunoglobulinas G (IgG, anticuerpo más abundante en el cuerpo) sérica de los terneros durante las primeras 24 h, debido a un aumento en la transferencia de IgG intestinal (Hammer et al., 2011). Esto sugiere que el sistema gastrointestinal fetal pueda ser programado de forma más eficiente en la extracción de nutrientes y macromoléculas durante el período postnatal (Funston et al., 2010).

3.5. HIPOTESIS

La hipótesis de este trabajo fue que las vacas en AOF tendrían mejor CC al parto y mejor estatus metabólicos, y que destetarían más kilos de terneros que sus contrapartes de BOF. A su vez, los terneros nacidos en AOF tendrían mayor PV y mejor estatus metabólicos que aquellos en BOF.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Bernardo Rossengurtt de la Facultad de Agronomía (UDELAR) situada en la ruta 26, km 408, Cerro Largo, Uruguay (32°35' Latitud S y 54°15' Longitud W). Se evaluaron 26 vacas primíparas, gestantes, Hereford (n = 13) y Aberdeen Angus (n = 13) que fueron asignadas al azar a dos tratamientos nutricionales dados por dos dinámicas contrastantes en la oferta forrajera (alta oferta de forraje, AOF, n = 13; baja oferta de forraje, BOF, n = 13) entre abril del 2015 y abril 2016. Las ofertas de forraje promedio anual fueron de 8 kg MS/kg PV (Alta Oferta: AOF) y 5 kg MS/kg PV (BAJA oferta: BOF). Sin embargo, la asignación de la OF estacional fue dinámica y varió entre estaciones (Tabla 1).

Tabla 1

Dinámica de la oferta de forraje durante el experimento

Estación	Oferta de forraje (kg MS/kg PV)	
	AOF	BOF
Otoño 2015	8	4
Invierno 2015	4	4
Primavera 2015	12	8
Verano 2016	8	4

El diseño del experimento fue de bloques completos al azar con 2 bloques que representan tipos de suelos contrastantes: Bloque 1 (suelos arenosos unidad Zapallar) y Bloque 2 (suelos pesados unidad Fraile Muerto, Brunosoles del noreste) y dos réplicas por bloque (Alta 1 y 2; Baja 1 y 2). El área del Bloque 1 fue de 59 ha: 19 ha (Alta 1), 19 ha (Alta 2), 9 ha (Baja 1) y 12 ha (Baja 2) ha. El área del Bloque 2 fue de 48 ha: 13 ha (Alta 1), 14 ha (Alta 2), 11 ha (Baja1) y 10 ha (Baja 2). La composición botánica de la pastura está dominada por: *Axonopus affinis*, *Oxalis sp*, *Cyperus sp*, *Cynodon dactylon*, *Eryngium nudicaule*, *Gaudinia fragilis*, *Chevreulia sarmentosa*, *Stipa setigera*, *Paspalum notatum* y *Coelorhachis selloana* (Do Carmo, 2013).

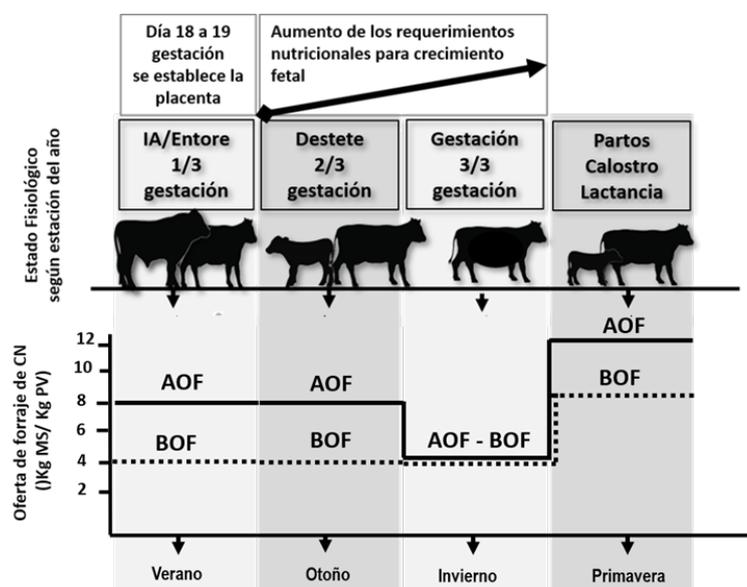
El ajuste de la oferta se realizó mensualmente, a través de la evaluación del forraje disponible cuantificando además el PV y la CC de los animales, para alcanzar la relación entre oferta de MS y cantidad de animales (en kg), establecida como meta en cada estación.

Los tratamientos de oferta de forraje fueron aplicados a través de la metodología *put and take* (Mott, 1960), variando el número de animales volantes y manteniendo el número de animales fijos por parcela. Las vacas volantes fueron de la misma raza, similar tamaño, peso corporal, y estado fisiológico que las vacas asignadas directamente al experimento.

Si bien el ensayo se centró en el último tercio de gestación y lactación hasta destete, la **figura 3** muestra esquemáticamente las distintas etapas fisiológicas asociadas a la cría vacuna del presente estudio, contrastadas con la dinámica de asignación de forraje estacional.

Figura 3

Representación esquemática de los tratamientos de AOF y BOF



Nota. Se aprecia también la asignación dinámica de la OF y el estado fisiológico de los animales.

4.2. DETERMINACIONES Y MUESTREOS EN LA PASTURA

Según lo publicado por Orcasberro (2017), la masa disponible de forraje (kg MS/ha) se calculó mensualmente, mediante el método de rendimientos comparativos (Haydock & Shaw, 1975), con una escala visual de 5 puntos y 3 sitios similares por cada punto de escala, cortado a nivel del suelo en cuadrantes de 0,25 m². Esta escala se repitió en cada parcela y en cada bloque donde se realizó el muestreo. Luego se calificaron 100-150 cuadrantes seleccionados al azar en cada unidad experimental. Las muestras de forraje se secaron en una estufa de aire forzado a 60° C hasta peso constante, para relacionar la masa de forraje con la escala visual. Simultáneamente, en las mismas unidades de muestreo, se midió la altura (cm) de la pastura con regla en el punto de máxima concentración de la pastura (Hodgson, 1990), para la cuantificación de la masa de forraje disponible.

4.2.1 Análisis Químicos

En el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía (Universidad de la República) se determinó el contenido de materia seca analítica (MS) de las muestras de forraje por secado a 105 °C durante 24 h, que luego fueron molidas en molino y tamizadas con malla de 1 mm. Las muestras de forraje para composición química representativas de cada tratamiento en cada período de medición se compusieron utilizando las muestras de pastura de cada punto de la escala medido por la frecuencia visual obtenida en la medición de la masa de forraje. En cada muestra se determinó el contenido de cenizas (C) en un horno de Mufla a 600 °C durante tres horas y la proteína bruta (PB) por el método Kjeldahl según Helrich (1990). El contenido de fibra detergente neutro (aFDN_{mo}) se determinó sin sulfito de sodio y con amilasa estable al calor. La fibra detergente ácido (FDAmo) y lignina detergente ácido (lignina) fueron analizadas con tecnología Ankom (Fiberanalyzer 200, Ankom Technology Corporation, Fairport, N.Y.) de forma secuencial (corregido por cenizas) por el método de van Soest et al. (1991). La Energía bruta se procesó utilizando una bomba calorimétrica adiabática (Gallenkamp Autobomb; Loughborough, Leics, Reino Unido).

4.3. DETERMINACIONES Y MUESTREOS EN LOS ANIMALES

La carga animal (kg PV/ha) se estimó como el promedio entre dos ajustes de oferta de forraje consecutivos, incluyendo el PV de las vacas experimentales y las vacas volantes agregadas para dicho ajuste. Los animales tuvieron partos de invierno-primavera (fines de agosto-principio de octubre). El siguiente entore se realizó desde el 28 de diciembre hasta el 29 de febrero, con destete temporario utilizando tabillas nasales durante 11 días. Al inicio del entore y desde el momento de colocación de las tabillas en los terneros, las madres fueron sometidas a un tratamiento de *flushing* con 2 kg/animal/día de afrechillo de arroz durante 20 días. El destete definitivo se realizó el 12 de abril, con un promedio de 210 ± 15 días post-parto.

La determinación de consumo de materia orgánica (CMO) se realizó a partir de la concentración de MO de la pastura y las estimaciones de consumo de materia seca (CMS) realizados en 3 períodos del año 2015: mayo (otoño: segundo tercio de gestación), agosto (invierno: máximo BEN) y noviembre (primavera: lactancia). El CMS se determinó mediante la técnica de doble marcador utilizando el Óxido de Cromo (Cr_2O_3) como marcador externo para la estimación de la producción de heces y Nitrógeno fecal (Nf) y Fibra Detergente Ácido fecal (FDAf) como indicadores internos para la estimación de la digestibilidad de la MO de la pastura consumida. La dosificación del marcador se realizó una vez por día con 10 g de Cr_2O_3 desde el día 1 del período experimental, con el objetivo de alcanzar un estado de equilibrio a nivel ruminal (período de estabilización del marcador). Dentro del período se realizaron dos muestreos de 5 días cada uno. La colecta de las heces se realizó diariamente, desde el día 8 al 12 de cada subperíodo experimental.

La excreción fecal se calculó a partir de la relación de la cantidad del indicador consumida en gramos por día y su concentración en las heces en gramos por kilogramo de materia seca, como lo muestra la siguiente ecuación (Piaggio, 1994):

$$\text{Heces (kg MS/d)} = \text{Indicador consumido (g/d)} / \text{Indicador en las heces (g/kg MS)}$$

A partir de dicha ecuación, el consumo de materia seca (CMS) se calcula como:

$$\text{Consumo (kg MS/d)} = \text{Heces (kg MS/d)} / 1 - \text{Digestibilidad}$$

Para la estimación de la digestibilidad de la materia orgánica (MO) de la pastura consumida se utilizaron el Nitrógeno fecal (Nf) y la Fibra Detergente Ácido fecal (FDAf) como indicadores internos.

La ecuación utilizada para los cálculos fue ajustada por Comeron y Peyraud (1993):

$$DMO = 0,791 + 0,0334Nf - 0,0038FDAf \quad (R^2 = 0,89)$$

Dónde: *DMO* es la digestibilidad de la MO (g/ kg), *Nf* es la concentración de nitrógeno de la MO fecal (g/kg MO) y *FDAf* es la concentración de fibra detergente ácido en la MO fecal (g/kg MO).

Mensualmente se determinó la CC de las vacas por apreciación visual (escala de 1 al 8, Vizcarra et al., 1986) y se registró el peso vivo (PV) sin ayuno en balanza electrónica. Los terneros fueron pesados mensualmente desde el nacimiento hasta el destete a los 7 meses.

A su vez, durante el último tercio de gestación (-80 días postparto, DPP) hasta los 140 DPP (figura 1), a cada vaca se le tomó una muestra mensual de 10ml de sangre mediante venopunción caudal, usando tubos al vacío con heparina (Vacutainer®, Becton Dickinson, Franklin Lakes, EUA), siempre a las 7 de la mañana para determinación de metabolitos. Asimismo, en los terneros se tomó una muestra de 5 mL de sangre mediante venopunción de la yugular, para determinación de metabolitos desde el nacimiento al destete. Las muestras se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 minutos (Centrifuga FANEM de Bancada Baby ® I Modelo 206 BL, Brasil) y el suero obtenido se conservó en tubos de almacenamiento, debidamente rotulados, a -20°C hasta su posterior análisis. Las muestras fueron trasladadas a Sayago al laboratorio biotecnología del Dpto. de Producción Animal y Pastura.

4.3.1. Colecta Y Mediciones En Las Placentas

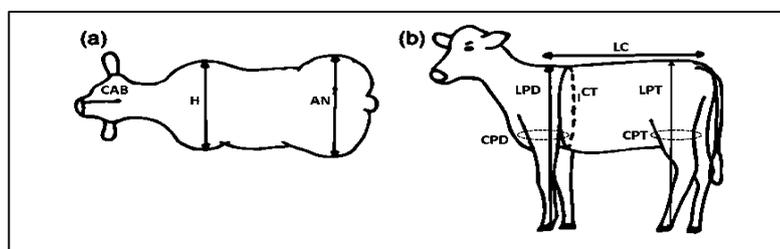
Según las fechas previstas de parto se realizaron rondas de recolección de las placentas. Asimismo, se constató visualmente signos de vulvas edematosas, ubres llenas y cambio en el comportamiento asociados a la proximidad del parto. Inmediatamente de recogidas las placentas fueron depositadas individualmente en bolsas de plástico, identificadas y trasladadas al laboratorio donde fueron procesadas. La rutina consistió en el pesaje individual de cada placenta sin restos de líquido amniótico. Posteriormente utilizando instrumental de disección se procedió a disecar los cotiledones, los cuales fueron agrupados según 5 categorías de tamaño. Para cada categoría se registró individualmente el diámetro y el peso de cada cotiledón. Los cotiledones fueron individualmente separados, contados, pesados y medidos (diámetro) para determinar el área ocupada por placenta.

4.3.2. Medidas Corporales En Terneros

Al nacimiento, dentro de las 24 horas posparto y mensualmente hasta el destete se realizaron en los terneros una serie de mediciones corporales o bovinométricas utilizando una cinta métrica. Para dichas medidas se utilizó como referencia mediciones en terneros de carne según Kolkman et al. (2010) (**Figura 4**): CAB: largo de la cabeza; H: distancia entre hombros; AN: ancho de anca; LC: largo del cuerpo; CT: circunferencia torácica; LPD: largo pata delantera; CPD: circunferencia pata delantera; LPT: largo pata trasera; CPT: circunferencia de pata trasera.

Figura 4

Diagrama de las medidas corporales o bovinométricas en terneros



Nota. (a) Vista dorsal donde se aprecia el CAB, H y AN. (b) vista lateral donde se observan LC, CT, LPD, CPD, LPT y CPT.

4.3.4. Análisis Químicos

Las colectas de heces fueron identificadas y secadas en estufa de aire forzado a 60° C durante 96 hs hasta peso constante y molidas en molino con malla de 1 mm para posteriormente determinar MS y concentración de óxido de Cr. En el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía (Universidad de la República), se determinó el contenido de materia seca analítica (MS) de las muestras de heces por secado a 105 °C durante 24 h, que luego fueron molidas en molino y tamizadas con malla de 1mm. La concentración del cromo en heces se midió por espectrometría de absorción atómica (Perkin-Elmer 2380, Norwalk, Connecticut, USA) usando una llama de nacetileno según los procedimientos descritos por Williams et al. (1962). Los estándares de cromo se realizaron utilizando muestras fecales extraídas previo al inicio del ensayo.

En las muestras de plasma se cuantificó glucosa, urea, colesterol, proteína total (PT) y albúmina, AGNE y beta hidroxibutirato. La concentración de globulinas se estimó como la diferencia entre la proteína total y la albúmina. Las determinaciones se realizaron por colorimetría utilizando kits comerciales (BioSystems SA, Barcelona, España) según los siguientes métodos: glucosa: oxidasa/peroxidasa, urea: ureasa/salicilato, colesterol: oxidasa/peroxidasa, PT: biuret, albúmina: verde de bromocresol. AGNE y Beta hidroxibutirato se realizará mediante kit comercial RANDOX. Para la lectura de absorbancia se utilizó un espectrofotómetro lector de microplacas ThermoScientificMultiskan FC. La concentración de insulina se determinó mediante ensayo radioinmunométrico (Diasource, Brussels, Belgium), y su coeficiente de variación fue de 7,5 y de 6,9 para los controles de baja y alta respectivamente.

4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todas las mediciones realizadas en los animales y en las pasturas se analizaron de acuerdo con un diseño de bloques generalizados con 2 bloques que representan tipos de suelos diferentes, usando el PROC MIXED del paquete estadístico SAS (SAS 9.0V; SAS Inst., Cary, NC, USA, 2001).

La carga de pastoreo, y la biomasa y altura de la pastura fueron analizadas por estación promedio estacional como medidas repetidas considerando el

tratamiento, la estación, tratamiento \times estación y el bloque como efectos fijos. Tanto biomasa como altura se analizaron como medidas repetidas en el tiempo, con una estructura de covarianza autorregresiva de orden 1 (AR (1)) (Littell et al., 2000).

Para el CMO y Δ CMO estacional se ajustó un modelo lineal mixto considerando el tratamiento, la estación, tratamiento \times estación y el bloque como efectos fijos y la vaca anidada en el tratamiento y el bloque como efecto aleatorio, y los datos fueron analizados como medidas repetidas en el tiempo, con covarianza autorregresiva de orden 1 (AR (1)) (Littell et al., 2000).

Las variables determinadas mensualmente en las vacas (PV, CC, metabolitos), también fueron analizados como medidas repetidas en el tiempo, considerando el tratamiento, los DPP, tratamiento \times DPP y el bloque como efectos fijos, y la vaca anidada en el tratamiento y bloque como efecto aleatorio. La estructura de covarianza elegida fue tipo *spatial power* (SP(POW)) dado que los intervalos temporales no estuvieron espaciados equidistantes (Littell et al., 2000).

Para el caso de los terneros, las variables que se midieron de forma repetitiva (PV, metabolitos) fueron analizadas como medidas repetidas en el tiempo considerándose con un modelo similar considerándose el tratamiento, los DPP, tratamiento \times DPP y el bloque como efectos fijos, y el ternero anidado en el tratamiento y bloque como efecto aleatorio. El sexo del ternero fue evaluado como efecto aleatorio y descartado por tener efecto significativo sobre las variables ($P > 0.10$).

Para las variables placentarias se realizó un ANOVA. En todos los casos, las medias fueron comparadas mediante la mínima diferencia significativa y se consideró efecto significativo con $P \leq 0.05$ y tendencia en caso de $0.05 < P \leq 0.10$.

5. RESULTADOS

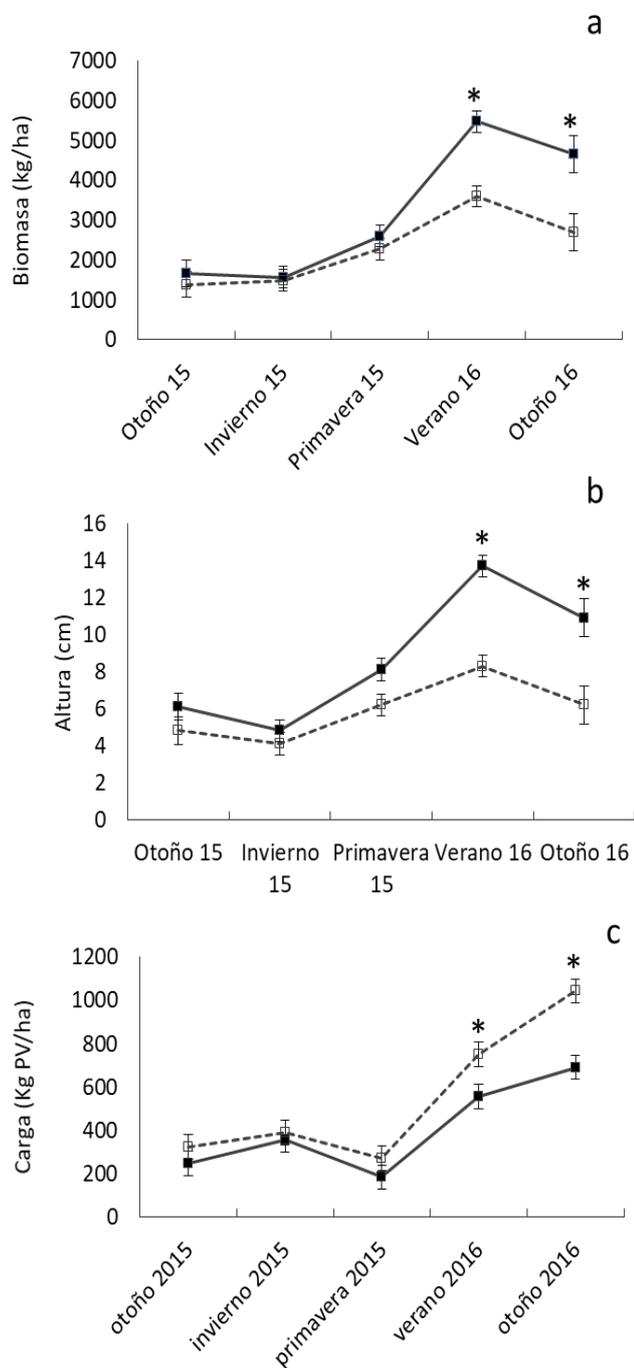
5.1. BIOMASA, ALTURA DE LA PASTURA Y CARGA ANIMAL

La biomasa (figura 6a) y la altura de la pastura (figura 6b) aumentaron ($P < 0.05$) durante el verano y el 2° otoño del experimento. Sin embargo, la biomasa y altura de la pastura estuvieron afectadas por la interacción entre el tratamiento y la fecha ($P < 0,012$), dado que el tratamiento AOF tuvo una mayor ($P < 0.01$) biomasa y altura que el tratamiento de BOF únicamente durante el verano y el 2° otoño.

La carga de pastoreo promedio fue mayor ($P < 0,01$) en BOF que en AOF. A su vez, estuvo afectada por la interacción entre la estación del año y el tratamiento, ya que, si bien numéricamente siempre fue mayor en BOF, las diferencias significativas ($P < 0.05$) ocurrieron únicamente en el verano y principio de otoño de 2016 (enero a marzo, Figura 6c). En ambos tratamientos, la carga de pastoreo fue similar entre otoño, invierno y primavera de 2015 aumentando ($P < 0.05$) luego en verano 2016 y manteniéndose en valores similares en otoño de 2016 (Figura 6c).

Figura 6

Evolución de la biomasa (a), altura de la pastura (b) y carga de pastoreo (c) para el tratamiento de AOF y BOF



Nota. AOF (línea continua) y BOF (línea punteada).

Diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos en un momento dado están indicadas con *.

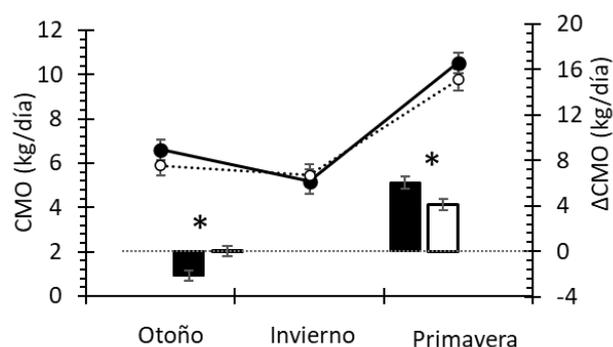
5.2. RESULTADOS MADRES

5.2.1. Consumo Y Dinámica De Cambio Temporal Del Consumo

El CMO no difirió entre tratamiento para los tres períodos de mediciones correspondientes al otoño, invierno y primavera. A través de las mediciones de consumo realizadas en los dos lotes de vacas de ambos grupos de tratamiento, realizadas en los períodos de otoño e invierno, se calculó un Δ CMO. La variación en el consumo (Δ CMO, figura 7) entre el otoño e invierno, mostró que el lote de vacas de AOF disminuyó 2.12 Kg el CMO, mientras que el lote BOF no vio modificado su consumo en el mismo periodo. En concordancia con los valores de Δ CMO, si comparamos los animales de AOF al inicio del invierno (-80 DPP) cuando ocurre el cambio en su OF y por lo tanto se genera una restricción en la disponibilidad de forraje, estos bajan de PV en promedio 4.2 Kg durante esta estación, mientras que los animales de BOF que no vieron modificada su OF entre otoño e invierno, aumentaron en promedio 8.7 Kg en el mismo periodo.

Figura 7

Efecto del tratamiento sobre el consumo de materia orgánica (CMO) y variación del consumo de materia orgánica (Δ CMO)



Nota. El consumo está indicado mediante línea continua (AOF) o punteada (BOF).

El Δ CMO entre otoño e invierno; e invierno y primavera se indica en gráficas de barra negras (AOF) y vacías (BOF). Diferencias ($P < 0.05$) entre tratamientos dentro de cada período se indican con *.

5.2.2. Peso Vivo (Pv) Y Condición Corporal (CC)

Tanto el PV como la CC no estuvieron afectados significativamente por el tratamiento (Tabla 3), y sí variaron a lo largo del experimento ($P < 0.01$). El PV se mantuvo estable previo al parto y aumentó entre los -14 DPP y 140 DPP (Figura 8a). La CC (Figura 8b) disminuyó ($P < 0.01$) entre -80 y -14 DPP, aumentando luego a los 27 DPP y ($P < 0.05$) y entre esta fecha y los 140 DPP ($P = 0.01$). Si bien no se detectaron diferencias significativas, tanto para PV como para CC, los animales en BOF siempre tuvieron un valor numéricamente igual o superior al lote de AOF.

Tabla 3

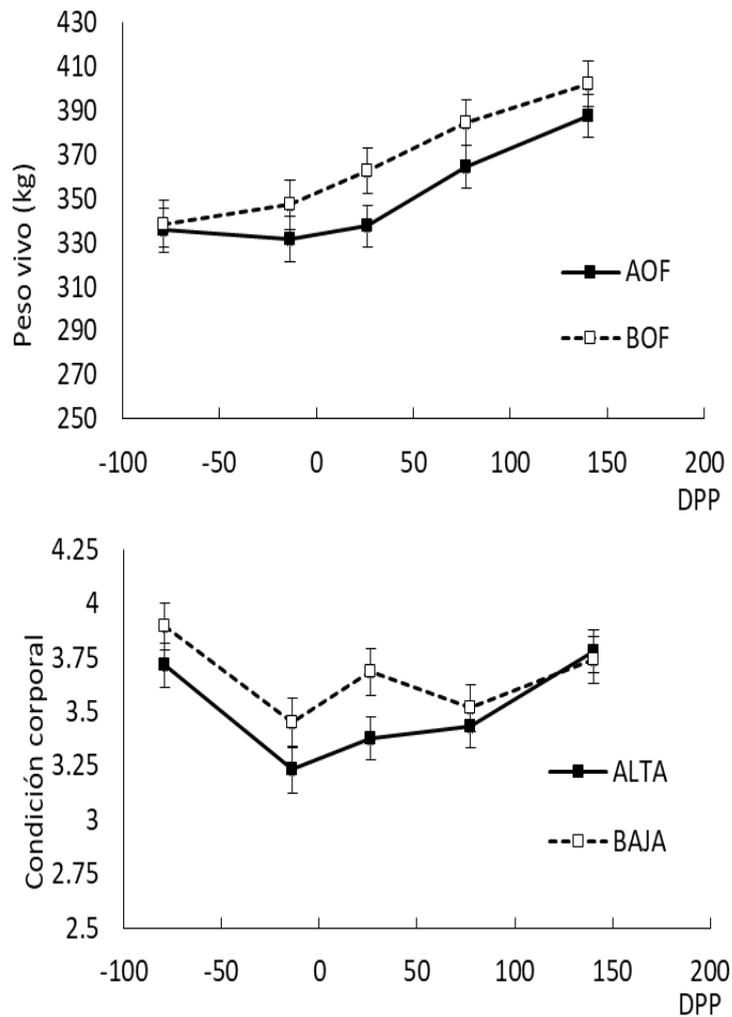
Efecto de la dinámica de oferta forrajera sobre variables fenotípicas y metabólicas

	Media		EE	P-valor			
	AOF	BOF		Tratamiento	DPP	Trat × DPP	Bloque
PV (kg)	351	367	11	0.152	< 0.01	0.72	0.34
CC	3.51	3.66	0.10	0.1423	< 0.01	0.41	0.15

Nota. Periodo de estudio: durante el último tercio de la gestación y hasta el destete.

Figura 8

Evolución de peso vivo (PV, kg) y de la condición corporal



Nota. Peso vivo (PV, kg) (a) y de la condición corporal (CC) (b) por tratamiento (AOF, línea continua y BOF, línea punteada). Medias ajustadas (\pm error estándar) desde -77 DDP a 140 DPP.

5.2.3. Placenta

El peso de la placenta ($P = 0.404$) y el peso de cotiledones por placenta ($P = 0.413$) no fueron diferentes entre tratamientos (tabla 4). Sin embargo, el número de cotiledones por placenta ($P = 0.068$) tendió a ser mayor en AOF, mientras que el área de cotiledón fue mayor ($P = 0.047$) y la eficiencia de la placenta (peso del ternero al nacimiento/peso de la placenta) tendió a ser mayor ($P = 0,056$) en BOF que en AOF.

Tabla 4

Efecto del tratamiento nutricional sobre parámetros placentarios al parto

Variables placentarias	AOF	BOF	EE	P Valor
Peso placentario (kg)	4.3	3.6	0.12	0.404
Número de cotiledones por placenta	113.6	94.6	13.05	0.068
Peso de cotiledón por placenta (kg)	1.63	1.42	0.36	0.413
Área de cotiledón (m ²)	0.38	0.42	0.07	0.047
Eficiencia placentaria ¹	7.2	8.7	1.49	0.056

Nota. ¹Peso del ternero al nacer/peso de la placenta

5.2.4 Resultados Endócrino-Metabólicos

Ningún metabolito ni hormona estuvo afectado significativamente por el tratamiento, a excepción de la concentración plasmática de AGNE que fue más alta ($P = 0.05$) en las vacas de BOF. La concentración de AGNE, a su vez, tendió a estar afectada ($P = 0.09$) por la interacción entre el tratamiento y la fecha ya que disminuyó ($P < 0.01$) en ambos tratamientos entre los -79 y +26 DPP, observándose una mayor ($P < 0.01$) concentración en BOF que en AOF a los +26 DPP (Figura 9a). Posteriormente, la concentración de AGNE aumentó a los 77 DPP en ambos tratamientos y volvió a disminuir a los 115 DPP ($P < 0.01$). La concentración de BHB (Figura 9b) fue similar entre los tratamientos durante todo el experimento, disminuyendo entre los -33 y -14 DPP ($P < 0.01$), manteniéndose ($P = 0.89$) en

valores similares hasta los +26 DPP y disminuyendo ($P < 0.01$) luego paulatinamente hasta los 140 DPP.

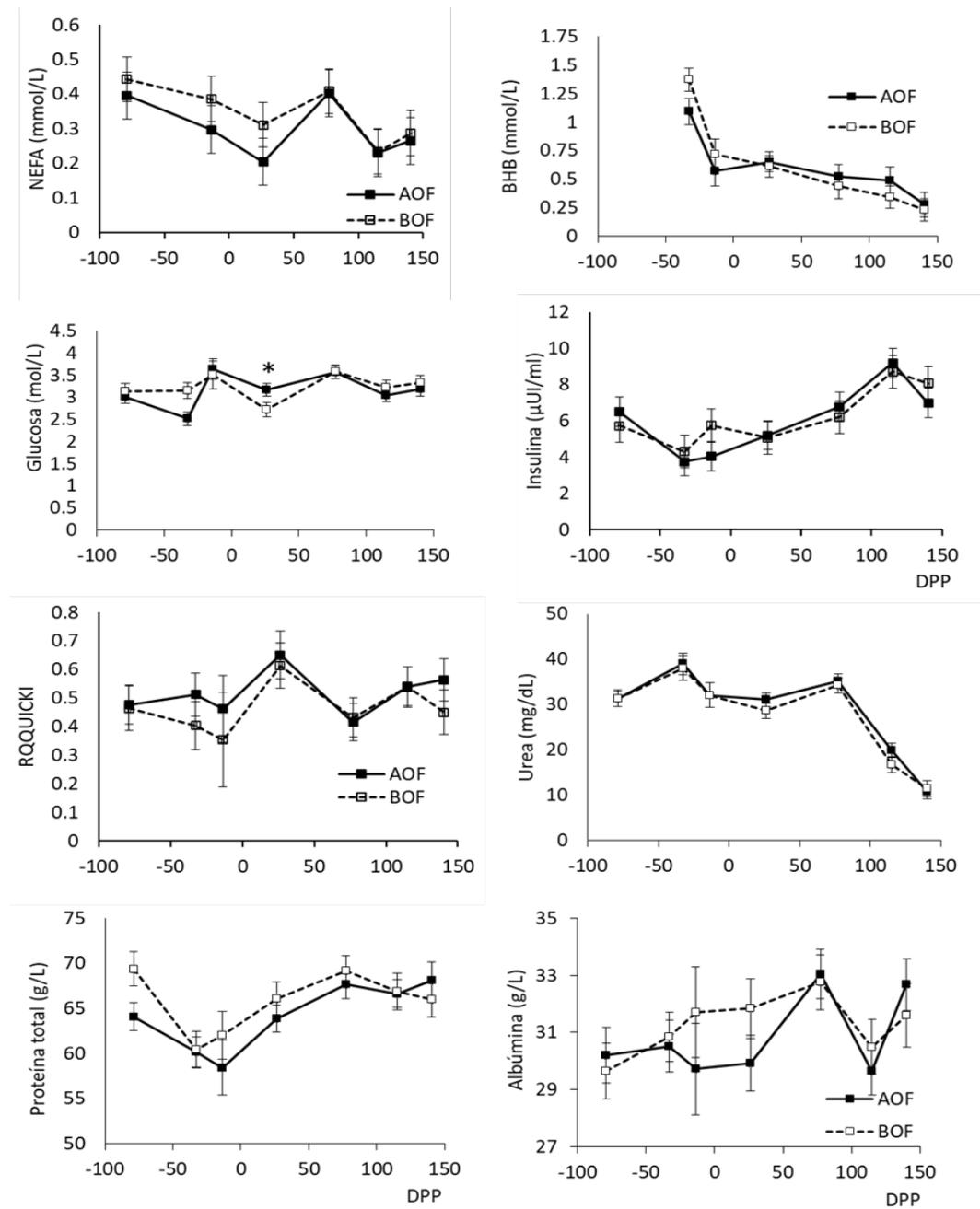
A su vez, la glucosa tendió a estar afectada ($P = 0.08$) por la interacción entre el tratamiento y la fecha ya que en los animales de BOF, su concentración no presentó variaciones entre -80 y -35 DPP, mientras que en AOF disminuyó ($P = 0.03$) entre los -79 y -33 DPP alcanzando menores concentraciones que BOF a los -33 DPP ($P < 0.01$; Figura 9c). Entre los -33 y -14 DPP, la concentración de glucosa aumentó y fue similar entre ambos tratamientos, disminuyendo luego del parto a los 26 DPP, observándose menores ($P = 0.04$) concentraciones en BOF que en AOF en este momento. Posteriormente, no hubo diferencias entre los tratamientos, aumentando a los 77 DPP y disminuyendo a los 115 DPP para mantenerse en valores similares hasta los 140 DPP.

La concentración de insulina disminuyó ($P < 0.01$) entre los -79 y -33 DPP, aumentando ($P < 0.01$) luego hasta 115 DPP y volviendo a disminuir ($P = 0.04$) a los 140 DPP. El índice RQUICKI, que estima la sensibilidad a la insulina, presentó valores más bajos ($P = 0.03$) en los animales de BOF y estuvo afectado ($P < 0.01$) por los DPP aumentando ($P < 0.05$) luego del parto hasta los 50 DPP bajando ($P < 0.01$) luego a los 70 DPP.

La concentración plasmática de urea varió de forma similar en ambos tratamientos, aumentando ($P < 0.01$) entre los -79 y -33 DPP, disminuyendo ($P < 0.01$) luego a los -7 DPP. Posteriormente, no se detectaron cambios a los 26 DPP, pero sí un aumento ($P < 0.01$) entre este momento y los 80 DPP, para luego disminuir ($P < 0.01$) entre los 79 y 140 DPP. La concentración plasmática de PT disminuyó ($P < 0.01$) entre los -79 y -33 DPP manteniéndose constante hasta los 77 DPP y aumentando ($P < 0.01$) entre este momento y los 80 DPP. A partir de este momento no se observaron variaciones (Figura 9g). La concentración de albúmina aumentó paulatinamente entre los -79 y 77 DPP ($P < 0.02$), disminuyendo ($P < 0.02$) luego a los 115 y volviendo a aumentar ($P = 0.03$) a los 140 DPP.

Figura 8

Efecto del tratamiento nutricional (AOF vs. BOF) sobre los parámetros metabólicos en las vacas



Nota. Diferencias entre tratamientos en un momento dado están indicados por *.

5.3. RESULTADOS TERNEROS

5.3.1. Peso Vivo, Crecimiento Y Frame Score

El PV al nacimiento y el PV promedio entre el nacimiento y el destete fue similar entre tratamientos (Tabla 5). A su vez, entre el nacimiento y el destete los terneros en BOF tuvieron un mayor aumento en PV lo que determinó que al destete tuvieran un PV 10 % mayor ($P = 0.04$) que los animales en AOF (Tabla 5).

La GMD en la etapa 1 no fue diferente entre tratamientos ($P = 0.37$) mientras que en la etapa 2 fue mayor en los animales en BOF ($P = 0.04$) lo que determinó que los animales en BOF tendieran a tener ($P = 0.08$) una mayor GMD promedio entre el nacimiento y el destete que los de AOF. Los kg ternero/vaca al destete fue similar entre tratamientos (Tabla 5).

Tabla 5

Efecto del tratamiento nutricional de la madre sobre el peso vivo, crecimiento y kilos destetados de ternero.

	Media		EEM	P-valor
	AOF	BOF		
PN (kg)	30.1	31.1	1.0	0.51
PV medio (kg)	95.1	100.9	2.7	0.23
PD (kg)	160.0	176.8	5.3	0.04
GMD Nac-dest (kg/d)	0.66	0.73	0.03	0.08
GMD Etapa 1 (kg/d)1	0.7	0.75	0.04	0.37
GMD Etapa 2 (kg/d)2	0.63	0.72	0.03	0.04
kg ternero/vaca	117.0	100.0	9.9	0.25

Respecto a las medidas morfométricas, tanto la CT como LPT fueron mayores en el grupo de BOF que en el de AOF (Tabla 6).

Tabla 6

Efecto del tratamiento nutricional de la madre sobre las medidas morfométricas de los terneros entre el nacimiento y el destete

Variables (cm)	Media		EEM	P- valor
	AOF	BOF		
CAB	29.33	29.70	0.30	0.41
LC	73.59	76.32	1.11	0.10
H	16.66	16.87	0.45	0.75
CT	106.47	110.02	1.04	0.03
AN	21.20	21.73	0.37	0.37
LPD	84.74	99.71	7.86	0.18
CPD	28.16	28.50	0.62	0.71
LPT	87.77	90.86	0.73	<0.01
CPT	32.58	32.91	0.32	0.49

Nota. CT: circunferencia de tórax; LPT: largo pata trasera; LPD: largo pata delantera; LC: largo del cuerpo; CPT: circunferencia de pata trasera; CAB: largo de la cabeza; CPD: circunferencia pata delantera; ANCA: ancho de anca; H: distancia entre hombros.

La variable LPT fue utilizada para el cálculo del *Frame Score*, observándose un FS de 3.4 (tamaño mediano) y 2.9 (tamaño pequeño) para BOF y AOF, respectivamente (Di Marco, 2004).

5.3.2. Resultados Endócrino-Metabólicos

Ningún metabolito ni hormona estuvo afectado por el tratamiento (Tabla 7), excepto la concentración plasmática de BHB que fue más alta ($P = 0.02$) en los animales BOF y las inmunoglobulinas que también tendieron a ser más altas en los

animales de BOF ($P = 0.06$) (Tabla 7). A su vez, la concentración de BHB aumentó ($P < 0.01$) entre los 5 y 35 días de nacido, disminuyendo ($P < 0.01$) hasta a los 190 días de edad en general para todos los animales. La concentración de glucosa estuvo afectada únicamente por la edad de los terneros, disminuyendo ($P < 0.001$) desde el nacimiento hasta los 190 días de edad. La concentración de insulina estuvo afectada ($P = 0.02$) por la interacción entre el tratamiento y la fecha ya que luego del nacimiento mientras que en los animales en BOF esta disminuyó ($P < 0.01$) entre los 5 y 35 días de nacimiento y luego se mantuvo estable hasta el fin del experimento, en los animales de AOF disminuyó ($P < 0.01$) más lentamente entre los 5 y 75 días de nacido para luego mantenerse sin alteraciones hasta el fin del experimento. Esto determinó que los animales de AOF presentaran mayores ($P < 0.01$) concentraciones de insulina que los animales de BOF únicamente a los 35 días de nacido.

Tabla 7

Efecto del tratamiento nutricional de la madre sobre los parámetros metabólicos de sus terneros entre el nacimiento y el destete

	Media		EEM	P-valor		
	AOF	BOF		Tratamiento	Fecha	Trat × Fecha
BHB (mmol/L)	0.10	0.24	0.06	0.02	< 0.01	0.19
Glucosa (mmol/L)	4.49	4.41	0.24	0.74	< 0.01	0.85
Insulina (μ UI/ml)	8.26	7.34	0.12	0.33	< 0.01	0.02
Urea (mg/dL)	21.9	20.5	1.06	0.18	< 0.01	0.02
Proteína total (g/L)	56.5	57.7	1.2	0.34	< 0.01	0.78
Albumina (g/L)	33.0	33.9	0.7	0.20	< 0.01	0.81
Inmunoglobulinas (g/L)	22.2	24.9	1.38	0.06	< 0.01	0.02

La concentración plasmática de urea estuvo afectada por la interacción entre el tratamiento y la fecha ($P = 0.02$; **Tabla 7**). Mientras que en los animales en AOF esta disminuyó ($P < 0.01$) entre los 5 y 75 días de nacido manteniéndose estable hasta los 140 días y tendiendo a aumentar ($P = 0.09$) luego a los 190 días; en los animales en BOF la concentración de urea fue similar entre los 5 y los 140 días aumentando ($P = 0.02$) luego a los 190 días. La concentración plasmática de PT varió de forma similar en ambos tratamientos a lo largo del experimento, disminuyendo ($P < 0.01$) desde los 5 hasta los 75 días de nacidos manteniéndose luego sin variaciones hasta el final del experimento ($P = 0.20$). La concentración plasmática de albúmina estuvo afectada únicamente por el efecto del tiempo, aumentando ($P < 0.01$) entre los 5 y 35 días de nacidos manteniéndose luego constante hasta los 190 días de edad. Las inmunoglobulinas bajaron su concentración ($P < 0.01$) en ambos tratamientos entre los 5 y 35 días de nacido, siendo esta disminución de mayor magnitud en los animales de AOF lo que determinó que los animales de BOF presentaran mayores ($P < 0.01$) concentraciones de inmunoglobulinas a los 35 días de nacido siendo este el único momento en el que difirieron. En el lapso entre los 35 y 75 días de nacido estuvieron afectadas por la interacción entre el tratamiento y la fecha ya que mientras los animales de BOF no modificaron su concentración desde los 35 días y hasta el fin del experimento, los animales de AOF en este lapso bajaron su concentración ($P = 0.01$) para que luego permanezca sin variaciones hasta el fin del experimento.

6. DISCUSIÓN

6.1. CARACTERÍSTICAS DE LA PASTURA Y PERFORMANCE ANIMAL

6.1.1. Biomasa

El manejo de la OF con cambios estacionales (Otoño: 8 y 4, Invierno: 4 y 4, Primavera: 12 y 8 y Verano: 8 y 4 kg MS/kg PV, AOF y BOF, respectivamente), generan fluctuaciones en la producción y acumulación de forraje, lo cual permite que el forraje acumulado en primavera pueda ser utilizado durante la temporada donde el crecimiento desciende o se hace nulo (Do Carmo, 2013).

En este trabajo, el manejo de la oferta estuvo asociado a diferente biomasa promedio anual, siendo mayor en AOF con respecto a BOF (3193 vs 2290 ±148 kg MS/ha/mes, respectivamente) ($P < 0,001$). No obstante, ambas biomásas promedio mensual superaron a las reportadas en los experimentos previos realizados en (EEBR) por Do Carmo (2013) y Claramunt (2015). Dichos autores evaluaron ofertas de 2,5 y 4 kg MS/kg PV, y la biomasa varió entre 1140 y 1860 kg MS/ha en promedio.

6.1.2. Perfiles De PV Y CC

Según Trujillo et al. (1996), la CC depende del consumo de energía del rodeo, el cual en condiciones de pastoreo está en gran medida influenciado por la altura de la pastura. Esto queda en evidencia en el presente trabajo dado que, si bien los tratamientos diferían en los niveles de oferta de forraje, no presentaron diferencias en cuanto a la altura del tapiz al inicio del ensayo. Por lo tanto y en base a lo reportado por Gonçalves et al. (2009), es esperable que no hayan existido diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a CC, ya que la estructura (o accesibilidad) del forraje puede haber restringido el consumo en pastoreo en ambos tratamientos de manera similar. No obstante, debe notarse que en el presente trabajo se consideran los resultados de un solo año, sin embargo, resultados del mismo experimento considerando varias repeticiones anuales mostraron que en AOF, y asociado a una mayor altura y oferta de forraje, hubo un mayor CMS (Do Carmo, 2013).

La CC al inicio del experimento (-80 DPP), no era la deseada para esta categoría (3.7 y 3.9, AOF y BOF respectivamente), ya que según lo reportado por Soca y Orcasberro (1992), las vaquillonas deben entrar al invierno con un estado de 5,5 a 6 para que luego durante esta estación, donde la producción de forraje es muy baja y los requerimientos del animal son muy elevados debido a la gestación avanzada y su propio crecimiento, los animales pierden CC. Esta estrategia es posible porque las vacas de carne pueden perder CC durante el período de gestación (hasta determinado umbral) y recuperarla luego, durante el período de lactancia (primavera, donde la disponibilidad y calidad forrajera es mayor) sin afectar significativamente el desempeño productivo (Arias, 2016; Freetly et al., 2000).

El perfil general de la CC es concordante con lo reportado previamente, donde una disminución de la misma en el último tercio de gestación se asocia a un menor CMS que no logra cubrir los requerimientos del animal (Astessiano et al., 2014; Soca et al., 2007). Consecuentemente, ocurren pérdidas importantes de CC durante el invierno como resultado de los procesos catabólicos, que se evidencian a través de una disminución en la concentración de insulina (en ambos tratamientos) y de glucosa (solo en AOF), consecuencia de una situación de BEN, concordante con resultados publicados previamente en vacas de carne por Laporta et al. (2014). En otras palabras, durante el BEN, los animales movilizan reservas corporales para aportar los nutrientes que no lograban ser ingeridos a través del forraje (Bauman & Currie, 1980).

Animales que paren entre fines de invierno e inicio de primavera experimentan restricciones nutricionales durante los últimos meses de gestación asociado a una menor cantidad y calidad de forraje. Esto toma mayor relevancia las vaquillonas, ya que son animales en crecimiento, donde el depósito de energía para mantener e incrementar la masa básica del cuerpo (crecimiento), resulta de crucial importancia (Short & Adams, 1988). A pesar de las restricciones nutricionales asociadas al invierno igualmente destinan energía para su propio crecimiento y esto puede explicar en parte por qué no bajan su PV durante el invierno a pesar de las restricciones forrajeras. Es decir, el estado anabólico del crecimiento determina una

competencia madre-feto por el uso de los recursos que son escasos, incluso durante el último tercio de gestación donde se acumula el 60% de la masa corporal fetal (Bell, 1995).

A pesar de que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, si comparamos los animales de AOF al inicio del invierno cuando ocurre el cambio en la OF (-80 DPP) y por lo tanto se genera una restricción en la disponibilidad de forraje, estas bajan de PV en promedio 4.2 kg durante esta estación, mientras que las de BOF que no vieron modificada su OF entre otoño y invierno aumentaron en promedio 8.7 kg en el mismo periodo. Esto se ve cotejado con las mediciones de consumo realizadas en los animales en los periodos de otoño e invierno, ya que la variación en el consumo (Δ CMO) entre el período de otoño y el período de invierno, el lote de AOF disminuyó 2.12 kg el consumo de MO/día, mientras que el lote BOF no vio modificado su consumo en el mismo periodo. Posterior al parto, en coincidencia con el inicio de la primavera y una mayor calidad y cantidad de forraje se observó un aumento del PV y CC para ambos lotes. Al comienzo es el lote de BOF quien logra un mayor aumento de peso en ese periodo lo que determina una diferencia en PV entre ambos tratamientos de 25.3 kg a los 26 DPP a favor de las vacas BOF. En definitiva, los resultados sugieren que posiblemente por el hecho de ser vacas nulíparas en crecimiento, la caída en la OF y CMO en los animales AOF determino una caída en el PV como consecuencia de la nueva situación, mientras que los animales de BOF no mostraron cambios en CMO ni PV lo que refleja un proceso de adaptación a esta situación de restricción nutricional. En otras palabras, estos resultados indican ponen en evidencia que los animales en crecimiento cursando su primera gestación, incluso llegando al invierno con baja CC, son capaces de poner en marcha procesos de adaptación.

6.1.3. Metabolitos Madres

La mayor concentración de AGNE promedio en el tratamiento de BOF indica que estos animales tuvieron una mayor movilización de tejido adiposo en términos promedios en comparación con los animales de AOF (Kessel et al., 2008). Dicha diferencia en AGNE se debió, particularmente, a una mayor concentración

durante el último tercio de gestación y los 21 DPP, lo que sugiere que fue durante esta etapa dónde la menor OF determinó un peor estatus metabólico para las madres (Quintans et al., 2009). No obstante, las mayores concentraciones de AGNE en BOF es posible que sea consecuencia también del mayor nivel de reservas en estos animales, puesto de manifiesto en el mayor PV y CC que presentaron en relación a los animales de AOF durante el último tercio de gestación (Astessiano et al., 2014). Por otra parte, el BHB, que es producido —en parte— durante el metabolismo de los AGNE (Meikle et al., 2004), estuvo alto previo al parto y luego disminuyó drásticamente. El aumento del BHB no solo obedece a la metabolización de los AGNE, sino que pone de manifiesto que los animales estaban en estado de BEN dado que, al igual que el resto de los cuerpos cetónicos, es utilizado como substrato energético durante momentos de alta demanda (Cirio & Tebot, 1998).

Si bien la glucosa en términos promedios fue similar entre ambos tratamientos, se observó una tendencia a estar afectada de manera diferente a lo largo del experimento según la OF. Esto se debió en primer lugar, a que entre los -80 y -30 DPP, se mantuvo constante en los animales de BOF mientras que disminuyó significativamente en los animales de AOF. Esto indica que el cambio dinámico en la OF durante el invierno significó un mayor desafío metabólico para los animales de AOF que en los de BOF, posiblemente como consecuencia de que mientras los primeros sufrieron una disminución en la OF (de 8 a 4 kg MS/kg PV), los segundos ya estaban adaptados a un ambiente nutricional pobre. En este sentido, se sabe que la concentración de glucosa en plasma está asociada con la ingesta de energía (Chilliard et al., 1998). En consecuencia, durante los meses invernales la glucosa disminuye como consecuencia de la caída en el CMS al tiempo que el animal sufre un aumento en los requerimientos energéticos como consecuencia del crecimiento fetal (Astessiano et al., 2014). En efecto, la suplementación energética de vacas primíparas pastoreando CN mejora su estatus metabólico, lo que se ve reflejado en una mayor concentración plasmática de insulina y glucosa (Clariget et al., 2016).

Por otra parte, y en concordancia con trabajos reportados anteriormente para vacas de razas carniceras manejadas en CN, la concentración de insulina disminuyó durante el último tercio de gestación lo que pone de manifiesto la disminución en

la ingesta de energía (Astessiano et al., 2014; Laporta et al., 2014). Más aún, el índice RQUICKI, que es un estimador de la sensibilidad a la insulina fue menor en términos promedios para los animales de BOF vs. AOF, lo que sugiere que los animales en BOF tuvieron una menor sensibilidad a la insulina (Holtenius & Holtenius, 2007). Estos resultados indican el peor ambiente nutricional al que estuvieron sometidas las vacas de BOF, lo que determino que desarrollaran una menor sensibilidad a la insulina (y posiblemente también una mayor resistencia) determinando una mayor partición de los nutrientes disponibles hacia el útero grávido (Holtenius & Holtenius, 2007). No obstante, resulta interesante notar que los resultados de PV y CC indicarían que los animales de BOF mostraron una mayor adaptación a las condiciones de restricción nutricional que los animales, como se discutió anteriormente.

En relación a los metabolitos asociados al metabolismo proteico, la alta concentración de urea hasta los +75 DPP que luego disminuye hacia los 100 y 150 DPP indica que, independientemente del tratamiento nutricional, el tenor proteico de la dieta disminuyó hacia el momento del destete (Baker et al., 1995). En efecto, la urea es sintetizada en el hígado como mecanismo de detoxificación del amoníaco, y por lo tanto su concentración en plasma sanguíneo es un buen indicador del contenido de proteína en la dieta. Resultados similares fueron reportados por Soca, Carriquiry, Claramunt, et al. (2013), quienes observaron un incremento de la urea plasmática durante los meses invernales. Más aún, en ese mismo trabajo usando vacas primíparas, los autores sugieren que altas concentraciones de urea hacia el parto podrían ser un indicador de movilización del músculo esquelético (Soca, Carriquiry, Claramunt, et al., 2013), lo que ha sido sugerido también para el caso de vacas lecheras en condiciones pastoriles (Adrien et al., 2012). Por otra parte, trabajos anteriores en Uruguay han sugerido que la concentración plasmática de proteína está asociada con el CMS (Meikle et al., 2013), de manera que la caída durante el último tercio de gestación hasta -15DPP y su posterior incremento es coincidente con el CMS durante el experimento que disminuye hacia el parto y luego aumenta. En efecto, se ha sugerido que un nivel adecuado de PT indica un correcto estado nutricional de la vaca (Blum et al., 2000), mientras que disminuciones de PT en suero se asocian a situaciones de subnutrición (Rodríguez et al., 1985).

6.1.4. Placenta

Varios trabajos científicos han señalado que la restricción nutricional materna durante la gestación puede afectar la funcionalidad de la placenta comprometiendo la capacidad de transferencia de nutrientes, lo cual condicionaría no solo la trayectoria de crecimiento fetal sino también el crecimiento posnatal (Laviola et al., 2005; Rotta et al., 2015; Vonnahme et al., 2007; Wallace et al., 2005; Zhu et al., 2007). En el presente estudio, el análisis de las características morfológicas macroscópicas de las placentas, indica que no se encontraron diferencias entre el peso de las placentas de ambos tratamientos. A su vez, los valores promedios de $3,95 \pm 0,12$ kg se encuentran en el mismo rango de pesos reportados en un estudio reciente para vacas primíparas de la raza de carne Azul Belga ($4,4 \pm 0,34$ Kg) (Van Eetvelde et al., 2016). Si bien el peso de la placenta aporta una descripción general del tamaño del órgano, Fowden et al. (2006) reportan que esta variable afecta directamente su capacidad de transferir nutrientes, lo cual tiene influencia sobre la tasa de crecimiento fetal y por tanto el peso al nacimiento. Kelly (1992) reporta en ovinos una alta correlación entre el peso de la placenta y el peso del cordero al nacimiento, lo cual tiene consecuencias en la sobrevivencia y la tasa de crecimiento posnatal tanto de ovinos como en humanos. En el presente estudio, como se mencionó anteriormente, el peso de la placenta no fue diferente significativamente entre ambos grupos de tratamiento, pero tampoco lo fueron los pesos de los terneros al nacimiento. Posiblemente, las placentas de ambos grupos de tratamiento mantuvieron y aseguraron un flujo constante de nutrientes al feto, quizá desde diferentes estrategias de compensación placentaria, respondiendo a la dinámica de asignación de forraje, la cual es esperable que haya tenido repercusiones fisiológicas diferentes en los tratamientos.

En la placenta de los rumiantes, los placentomas (carúncula más cotiledón) juegan un rol fundamental puesto que representan las áreas de intercambio de nutrientes entre la madre y el feto. Carter (2020) ha reportado que el número de placentomas varía entre 50 y 175 por útero mientras que investigaciones realizadas por Laven y Peters (2001) sitúan dicho rango en valores inferiores de entre 40 y 120. En el presente trabajo, tanto el número como el peso de los cotiledones no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El número de cotiledones promedio registrado en nuestro trabajo ($103,5 \pm 13,0$), concuerda con el reportado

por Kamal et al. (2017) para vacas lecheras de la misma categoría ($112 \pm 29,5$). Rotta et al. (2015) trabajando con ganado lechero Gyr-Holando reportaron que el peso de los cotiledones no difirió entre tratamientos a los 268 días de gestación situándose entre 0,92 Kg y 1,17 Kg, para animales alimentados ad libitum y en mantenimiento, respectivamente. En el presente trabajo observamos que el peso de cotiledones de placentas a término, fue ligeramente superiores a los reportados por estos autores, $1,63 \pm 0,36$ Kg y $1,42 \pm 0,36$ Kg, AOF y BOF, respectivamente.

Como es sabido, la placenta se establece en torno a los días 18 a 20 post fertilización por lo que se ha reportado que toda restricción nutricional en torno a este período podría reprogramar el crecimiento y desarrollo de la placenta, adaptándose al nuevo estatus energético. El grado de severidad de la restricción, podría tener consecuencias directas y decisivas sobre la transferencia de nutrientes hacia el feto y su crecimiento intrauterino y posnatal. Assis Neto et al. (2010) reporta que, en la especie bovina, el número de placentomas se establece precozmente en la gestación. En tanto, Laven y Peters (2001) reafirman esta observación al mismo tiempo que identifican que el número de placentomas se establece específicamente en el primer tercio y parecería no cambiar con el avance de la gestación. En contraposición a estos autores, una publicación reciente reporta un incremento en el número de placentomas conforme avanza la gestación, trabajo diseñado para evaluar el efecto de los días de gestación y de la restricción nutricional en vacas Gyr-Holando (Rotta et al., 2015). Estos datos indican que la placenta estaría desarrollando mecanismos que le permitan compensar la restricción nutricional a través del aumento del número de placentomas, lo cual estaría asegurando el flujo de nutrientes al feto. En el presente estudio solo se realizó el recuento de cotiledones en las placentas expulsadas al parto por lo que nuestros resultados no permiten identificar si hubo un cambio en el número de cotiledones a lo largo de la gestación. Dichos datos podrían haber sido de utilidad para identificar posibles mecanismos de compensación placentaria, principalmente en las madres de BOF las cuales transcurrieron las primeras etapas de desarrollo placentario (1er. tercio de gestación) con una oferta de forraje 50% menor que el grupo de tratamiento de AOF.

Contrariamente a los placentomas de los ovinos, se ha reportado que en los bovinos estos crecen a lo largo de toda la gestación (Reynolds et al., 1990; Van Eetvelde et al., 2016). Este hecho permite que los placentomas se adapten a las situaciones de restricción nutricional poniendo en marcha mecanismos que le permitan compensar la disminución del flujo de nutrientes hacia el feto. Se ha observado que el aumento en la superficie cotiledonaria constituye el segundo mecanismo compensatorio reportado en la literatura. Asimismo, en las últimas décadas se han realizado esfuerzos para aclarar los mecanismos compensatorios que involucran el desarrollo vascular y la angiogénesis placentaria, así como la expresión génica de genes identificados en dichos mecanismos (Edwards et al., 2020; Reynolds et al., 2005). En el presente trabajo el grupo de BOF presentó mayor área de cotiledones que el grupo de AOF (0,42 m² vs. 0,38 m²). Los valores reportados para esta variable en placentas de vacas primíparas son superiores a los obtenidos en el presente estudio, 0,48 m² y 0,51 m² en los trabajos de Kamal et al. (2017) y Van Eetvelde et al. (2016), respectivamente. Así mismo, Van Eetvelde et al. (2016) reportan en animales Holstein Friesian un aumento en la superficie de cotiledones al parto en vacas adultas, pero no en vaquillonas. Si bien este último trabajo compara compensación placentaria entre categorías, nuestro trabajo señala la presencia de compensaciones placentarias en vacas nulíparas en situación de restricción nutricional. Dado que se analizaron las placentas al parto, no podemos verificar en qué momento de la gestación tomó lugar el aumento del área de cotiledones.

El tercer tercio de gestación se caracteriza por un rápido incremento en las demandas energéticas para cubrir los requerimientos del crecimiento fetal. Reynolds y Redmer (1995) reportan que el aumento en la superficie de cotiledones de la placenta podría tener lugar en el último tercio de gestación respondiendo al aumento de las demandas energéticas para sostener el crecimiento fetal. A diferencia de las vacas adultas gestantes, en las vaquillonas (categoría aún en crecimiento), la partición de la energía para cubrir el crecimiento de dichos animales y cubrir paralelamente la demanda de crecimiento y desarrollo placentaria y fetal, supone una competencia por nutrientes en los tres tercios de gestación. Este concepto desmitifica el hecho de que en esta categoría de animales solo debamos

focalizar la atención en el manejo en el último tercio de gestación. Por los motivos expuestos, especulamos que posiblemente durante el primer tercio de la gestación las vaquillonas gestantes pertenecientes al grupo BOF desarrollaron mecanismos de compensación placentaria en relación a los animales del grupo de AOF, en respuesta a un menor plano nutricional. No obstante, con el transcurso de la gestación y su concomitante aumento de los requerimientos para sostener el crecimiento fetal, especialmente en el invierno cuando la dinámica de la asignación de forraje iguala la oferta de forraje de CN en ambos grupos de tratamiento, las vaquillonas de ambos grupos posiblemente hayan desencadenado un aumento del área de cotiledones, mecanismo a través del cual se aseguró un flujo constante de nutrientes al feto. Estos mecanismos parecerían haber tenido un mayor impacto en el grupo de BOF puesto que se observó una tendencia a una mayor eficiencia placentaria en términos de peso de ternero en relación al peso placentario o incluso al área de cotiledones.

6.1.5. Terneros

En concordancia con lo reportado por Gutiérrez et al. (2012), la concentración plasmática de PT fue alta enseguida del nacimiento y luego disminuyó rápidamente. Si bien no se encontraron diferencias significativas entre los terneros de AOF y BOF, las inmunoglobulinas siguieron un patrón similar al de la PT, pero disminuyeron de forma más marcada en los animales de AOF, de manera que estos tuvieron una menor concentración plasmática que los animales de BOF hacia los 30 días de vida. Esto sugiere que la subnutrición materna durante la gestación, a través de la programación fetal, determinó una mayor capacidad intestinal para la absorción de inmunoglobulinas provenientes de la leche en los animales de BOF. Resultados comparables fueron reportados por Gutiérrez et al. (2012) y resultan concordantes con lo sugerido previamente por Funston y Summers (2013) quienes indicaron que la programación fetal por subnutrición materna podría determinar un aumento en la capacidad de absorción de nutrientes en la etapa postnatal.

Por otra parte, las altas concentraciones plasmáticas de glucosa e insulina al nacimiento y su posterior disminución son concordantes con lo reportado por Gutiérrez et al. (2012).

6.1.6. PV Terneros Nacimiento A Destete

Tudor (1972), citado por Wu et al. (2006) reporta que vacas Hereford, alimentadas con niveles por debajo de los requerimientos de mantenimiento durante el último tercio de gestación redujeron significativamente el peso de los terneros al nacimiento. Resultados similares fueron observados en vaquillonas de 15 meses, las cuales fueron sometidas a una reducción drástica en el plano nutricional vía la disminución de la asignación de pasturas durante el último tercio de gestación (Kroker & Cummins, 1979). De igual forma, Larson et al. (2009) encontraron diferencias entre los pesos de los terneros al nacimiento de madres sometidas a una suplementación proteica. En el presente trabajo, el PV de los terneros al nacimiento no difirió entre ambos grupos de tratamiento, situándose en torno a los 30,5 Kg en promedio. Estos resultados concuerdan con el trabajo de Martin et al. (2007) quienes reportan que el peso de los terneros nacidos de madres que fueron sometidas a restricción nutricional durante la gestación, no difirió entre el grupo control y el grupo suplementado.

Así mismo, estos pesos concuerdan con los reportados por Brasesco y Echeverrigaray (1988) en un estudio realizado en nuestro país, donde se observaron pesos al nacimiento promedio de 29.90 ± 0.36 kg y 31.52 ± 0.25 para Aberdeen Angus y Hereford, respectivamente. Más aún, los pesos al nacimiento del presente estudio, están en acuerdo con los reportados por Cantet (1983) para vacas de primer parto de las mismas razas de carne utilizadas en el presente estudio. Así mismo, Cantet (1983) señala que el PN de terneros nacidos de vaquillonas y vacas adultas varían de 1 a 3,6 kg a favor de las adultas. Estas diferencias se explican por el hecho que las vaquillonas de primera cría llegan a su primera gestación con 70 a 80 % de su PV maduro (Bellows & Short, 1978; Wu et al., 2006). Por consiguiente, durante la gestación, tanto madre como feto se encuentran ambos en crecimiento y compiten por los nutrientes. Si bien en el presente trabajo no se observaron efectos del tratamiento en el PN de los terneros, fueron frecuentes las distocias al parto en

ambos grupos de tratamiento, lo cual está en consonancia con los resultados de un experimento realizado en vaquillonas de carne alimentadas con una dieta baja en proteína cruda durante el último tercio de gestación en el cual se reporta un aumento en la incidencia de distocias, aumento de las muertes perinatales y reducción en el crecimiento posnatal de los terneros (Krocker & Cummins, 1979).

En cuanto a la trayectoria de crecimiento posnatal, no se observaron diferencias significativas entre ambos grupos de tratamiento en el PV promedio registrado entre el nacimiento y el destete de los terneros. No obstante, considerando el mismo período, los terneros pertenecientes al tratamiento BOF tuvieron una mayor GMD en la etapa 2, lo que determinó que al destete, dichos animales tuvieran un PV 10 % mayor que los animales en AOF. La mayor parte de la literatura reporta resultados contrapuestos a los observados en el presente estudio (Larson et al., 2009; Martin et al., 2007; Stalker et al., 2007). Varios factores pueden estar involucrados en esta respuesta. En primer lugar, se debe mencionar la programación fetal. En tal sentido, es ineludible mencionar el impacto de la nutrición que recibe la madre durante la gestación sobre el crecimiento y desarrollo fetal. En la actualidad se cuenta con abundante evidencia científica que indica que los períodos de restricción nutricional que experimentan los animales gestantes derivan en un reordenamiento del funcionamiento de los ejes endócrinos involucrados en el crecimiento intrauterino los cuales responden al nuevo balance energético a partir del cual se cubrirán las necesidades para crecimiento fetal. En el presente trabajo contrariamente a lo establecido en la hipótesis de trabajo, los terneros de BOF fueron 10% más pesados al destete que aquellos cuyas madres recibieron un tratamiento de AOF. Además, los terneros del grupo de tratamiento de BOF presentaron mayor “frame score” que los terneros de AOF al destete. El “frame score” se utiliza para estimar el patrón de crecimiento y el tamaño potencial de madurez de un animal. Los puntajes de frame más pequeños se asocian con ganado que es de estatura baja para su edad y tienden a tener una maduración temprana, llegan a faena con pesos más livianos, en este caso se ubica el grupo de terneros de AOF. Por el contrario, los animales con mayor puntaje de frame tienen una tasa de madurez y finalización más lenta y maduran con pesos corporales relativamente pesados. Gutiérrez et al. (2013) reportan que los porcentajes de EBF (grasa corporal) y GC (grasa en carcasa) tendieron a ser menores en terneros de AO

que BO en un ensayo realizado con ganado de carne. Así mismo, Di Marco (2000) establece que existiría una mayor proporción de grasa en la carcasa en los animales durante la realimentación en los casos de restricciones severas donde se puede ver afectado el crecimiento del tejido magro y un incremento en el depósito de grasa con un menor tamaño del animal. Una posible explicación a las diferencias encontradas respecto al peso al destete podría estar en la fisiología del intestino y del tejido muscular. Como es sabido, ambos coordinan el metabolismo de los nutrientes en los animales. Cabe destacar que el intestino delgado juega un rol central en la digestión y absorción de nutrientes en el crecimiento posnatal de los animales productivos (Wu, 1998). Además, durante las primeras etapas del crecimiento posnatal, la deposición de proteína en el músculo esquelético tiene alta prioridad en detrimento de otros tejidos. Wang et al. (2005) han reportado la existencia de una disfunción del funcionamiento gastrointestinal en animales cuyas madres transcurrieron la gestación bajo regímenes nutricionales restrictivos. De igual forma, Greenwood et al. (2000) reportan un deterioro en el desarrollo del músculo esquelético, en animales bajo las mismas condiciones que el experimento mencionado anteriormente. El balance de la proteína muscular, parece ser el mayor determinante de la tasa de crecimiento posnatal temprano. Estos antecedentes podrían contribuir a una menor eficiencia en la utilización de los nutrientes, particularmente, provocar una menor eficiencia en la utilización del forraje (Gootwine et al., 2007), lo cual podría estar asociado a una disminución de la tasa de crecimiento posnatal en aquellos animales que fueron sujetos a una programación fetal en respuesta a una restricción nutricional durante la gestación. En tal sentido, Greenwood et al. (1998) reportan que corderos cuyas madres fueron sometidas a una restricción nutricional durante la gestación mostraron una tasa de crecimiento menor y una menor tasa de eficiencia de utilización de la energía para deposición de tejido muscular y adiposo que los corderos de madres bien alimentadas.

6.1.7. Competencia Inmunológica

Los resultados del presente trabajo muestran que los terneros de ambos grupos de tratamiento no presentaron diferencias significativas en la concentración de IgG dentro de las 24h de nacidos, valores que se situaron en torno a los 45 a 50 g/L. Dichos valores concuerdan con los reportados por Kehoe et al. (2007) en terneros de ganado lechero, quienes obtuvieron concentraciones de 41 g/L (IgG1 35 g/L más IgG2 6 g/L) entre las 24 y 48 horas posparto. No obstante, Waldner y Rosengren (2009) reportan valores inferiores que los obtenidos en el presente trabajo para terneros nacidos de vaquillonas de carne, la misma categoría de animales del presente estudio, los cuales se situaron en el orden de 38 g/L IgG. Los resultados del presente trabajo estarían indicando que los terneros de ambos grupos de tratamiento recibieron calostro adecuadamente, el cual es esencial para la transferencia de inmunidad pasiva y para promover el crecimiento y diferenciación de las células epiteliales del intestino (Yang et al., 2015). Sin embargo, en torno a los 30 días post parto, los terneros del tratamiento de BOF presentaron mayor competencia inmunológica que los terneros de AOF. Wang et al. (2005) han reportado la existencia de una disfunción del funcionamiento gastrointestinal en animales cuyas madres transcurrieron la gestación bajo regímenes nutricionales restrictivos. Los resultados obtenidos en el presente trabajo se contraponen a los reportados por estos investigadores. Los terneros nacidos de madres alimentadas con una AOF tuvieron menor competencia inmunológica al mes de nacidos. El análisis de la variable concentración de IgG puso en tela de juicio el efecto de los tratamientos nutricionales recibidos por las madres durante la gestación. En tal sentido, se identificó que el Δ CMO correspondiente al pasaje de otoño a invierno fue mayor en el grupo de madres de AOF. Esta caída significativa en el CMO durante el último tercio de gestación (invierno), coincide con los mayores requerimientos energéticos para sostener el crecimiento fetal. Respecto al Δ CMO del grupo de madres de BOF, este no presentó diferencias significativas en la transición estacional del otoño al invierno. Sumado a la disminución en el CMO que experimentaron ambos grupos de tratamiento durante el último tercio de gestación (invierno), el consumo voluntario, generalmente decrece en un 30 a 35% durante las 3 últimas semanas de gestación (Grummer, 1995), cuando la tasa de crecimiento fetal es la más alta.

A través de estos datos, podemos especular que las vacas de BOF podrían haber redefinido la trayectoria de crecimiento y desarrollo fetal ya en las primeras etapas de la gestación en las cuales los requerimientos energéticos para el crecimiento fetal son menores. La restricción nutricional tuvo finalmente un mayor impacto en las madres del tratamiento AOF, por lo que se identifica a la dinámica de asignación de pasturas como un factor de impacto en la programación fetal durante el último tercio de gestación.

7. CONCLUSIÓN

A través del presente estudio reunimos evidencia respecto al impacto de la dinámica de asignación de forraje de CN sobre la programación fetal en vaquillonas gestantes y sus crías desde el nacimiento al destete. Se identificó que las vaquillonas de AOF fueron más afectadas por la dinámica de asignación de forraje durante el último tercio de gestación, característico por sus altas demandas energéticas para el crecimiento fetal que aquellas vaquillonas pertenecientes al tratamiento de BOF. Como consecuencia del manejo invernal de la pastura, las vaquillonas de AOF redujeron a un 50% el CMO en la transición del otoño-invierno. Este hecho marcó posiblemente un cambio en la estrategia de partición de la energía poniendo en marcha una adaptación endócrino-metabólica que afectó la trayectoria de crecimiento fetal, lo cual redundó en terneros con menor peso al destete que los terneros de BOF. Las vaquillonas de BOF, recibieron durante toda la gestación un valor constante de asignación de forraje lo cual posiblemente les obligó a reprogramar la trayectoria de fetal acomodándose a la situación energética desde el inicio de la gestación, cuando los requerimientos no son tan elevados. Así mismo, los resultados del presente trabajo indican la existencia de mecanismos compensatorios en la placenta que permiten llegar a término al feto en condiciones de restricción nutricional. A través de los resultados de este trabajo, queda de manifiesto que los valores promedio anuales de asignación de forraje no reflejan las respuestas fisiológicas de los animales. Es imperativo trabajar identificando aquellas “ventanas” durante la gestación dónde el manejo nutricional pueda afectar de forma directa y negativa el crecimiento fetal y el posnatal, lo cual se sabe tiene consecuencias en la vida adulta, tanto para la producción como para reproducción de los animales.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adrien, M. L., Mattiauda, D. A., Artegoitia, V., Carriquiry, M., Motta, G., Bentancur, O., & Meikle, A. (2012). Nutritional regulation of body condition score at the initiation of the transition period in primiparous and multiparous dairy cows under grazing conditions: Milk production, resumption of post-partum ovarian cyclicity and metabolic parameters. *Animal*, 6(2), 292-299.
<https://doi.org/10.1017/S175173111100142X>
- Arias, R. (2016). *Nutrición prenatal de la vaca de carne: Su efecto en la progenie*. Sitio Argentino de Producción Animal. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/193-Nutricion_prenatal.pdf
- Assis Neto, A. C., Pereira, F. T. V., Santos, T. C., Ambrosio, C. E., Leiser, R., & Miglino, M. A. (2010). Morpho-physical recording of bovine conceptus (*Bos indicus*) and placenta from days 20 to 70 of pregnancy. *Reproduction in Domestic Animals*, 45(5), 760-772. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2009.01345.x>
- Astessiano, A. L., Pérez-Clariget, R., Quintans, G., Soca, P., & Carriquiry, M. (2012). Effects of a short-term increase in the nutritional plane before the mating period on metabolic and endocrine parameters, hepatic gene expression and reproduction in primiparous beef cows on grazing conditions. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96(3), 535-544. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01178.x>
- Astessiano, A. L., Pérez-Clariget, R., Quintans, G., Soca, P., Meikle, A., Crooker, B. A., & Carriquiry, M. (2014). Metabolic and endocrine profiles and hepatic gene expression in periparturient, grazing primiparous beef cows with different body reserves. *Livestock Science*, 170, 63-71.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.10.008>

- Baker, L. D., Ferguson, J. D., & Chalupa, W. (1995). Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 78(11), 2424-2434.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030295768710>
- Barker, D. J., Osmond, C., Golding, J., Kuh, D., & Wadsworth, M. (1989). Growth in utero, blood pressure in childhood and adult life, and mortality from cardiovascular disease. *British Medical Journal*, 298, 564-567.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1835925/pdf/bmj00221-0028.pdf>
- Bauman, D. E., & Currie, W. B. (1980). Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science*, 63(9), 1514-1529.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030280831110>
- Bavera, G., Bocco, O., Beguet, H., & Petryna, A. (2005). *Crecimiento, desarrollo y precocidad*. Sitio Argentino de Producción animal.
https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/05-crecimiento_desarrollo_y_precocidad.pdf
- Beef Improvement Federation. (2016). *Guidelines for uniform beef improvement programs* (9th ed.). https://beefimprovement.org/wp-content/uploads/2013/07/BIFGuidelinesFinal_updated0916.pdf
- Bell, A. W. (1995). Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2804-2819. <https://doi.org/10.2527/1995.7392804x>
- Bell, A. W., & Bauman, D. E. (1997). Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 2(3), 265-278. <https://doi.org/10.1023/A:1026336505343>
- Bellows, R. A., & Short, R. E. (1978). Effects of precalving feed level on birth weight, calving difficulty and subsequent fertility. *Journal of Animal Science*, 46(6), 1522-1528. <https://doi.org/10.2527/jas1978.4661522x>

- Berretta, E. J., Risso, D. F., Montossi, F., & Pigurina, G. (2000). Campos in Uruguay. En G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger, & F. Carvalho (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 377-394). CAB International.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7146/1/G-Lemaire-J-Hodgson-A-Moraes-P-C-F-Cavalho-C-Nabinger-Grassland-Ecophysiology-and-Grazing-Ecology.pdf>
- Bjerre-Harpøth, V., Friggens, N. C., Thorup, V. M., Larsen, T., Damgaard, B. M., Ingvarsen, K. L., & Moyes, K. M. (2012). Metabolic and production profiles of dairy cows in response to decreased nutrient density to increase physiological imbalance at different stages of lactation. *Journal of Dairy Science*, 95(5), 2362-2380. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4419>
- Blum, J. W., Bruckmaier, R. M., Vacher, P. Y., Münger, A., & Jans, F. (2000). Twenty-four-hour patterns of hormones and metabolites in week 9 and 19 of lactation in high-yielding dairy cows fed triglycerides and free fatty acids. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 47(1), 43-60.
<https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2000.00266.x>
- Brasenco, R., & Echeverrigaray, G. (1988). *Efectos genéticos y ambientales que inciden en el peso al nacer, peso al destete y ganancia diaria predestete de terneros Hereford y Aberdeen Angus* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Cantet, R. (1983). *El crecimiento del ternero*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (1991). *Aspectos relevantes para la producción forrajera*. INIA.
- Carter, A. M. (2020). Evolution of placentation in cattle and antelopes. *Animal Reproduction*, 16(1), 3-17.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8083812/>

- Carvalho, P., Nabinger, C., Lemaire, G., & Genro, T. (2011). Challenges and opportunities for livestock production in natural pastures: The case of Brazilian Pampa Biome. En *IX International Rangeland Congress: Diverse rangelands for a sustainable society* (pp. IX-XV). Argentinean Association for Range Management; INTA.
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48078/1/CarvalhoEtAl.2011.pdf>
- Caton, J. S., & Hess, B. W. (2010). Maternal plane of nutrition: Impact on fetal outcomes and postnatal offspring responses. En B. W. Hess, T. Del Curto, J. G. P. Bowman, & R. C. Waterman (Eds.), *IV Grazing Livestock Nutrition Conference* (pp. 104-122). ASAC.
https://www.researchgate.net/profile/Hugh-Dove/publication/50947652_Application_of_nutrient_requirement_schemes_to_grazing_animals/links/00b4953c469d2595f0000000/Application-of-nutrient-requirement-schemes-to-grazing-animals.pdf#page=112
- Cavestany, D., Blanc, J. E., Kulcsar, M., Uriarte, G., Chilbroste, P., Meikle, A., Febel, H., Ferraris, A., & Krall, E. (2005). Studies of the transition cow under a pasture-based milk production system: Metabolic profiles. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 52(1), 1-7.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.2004.00679.x>
- Chilliard, Y., Bocquier, F., & Doreau, M. (1998). Digestive and metabolic adaptations of ruminants to undernutrition, and consequences on reproduction. *Reproduction, Nutrition, Development*, 38(2), 131-152.
https://rnd.edpsciences.org/articles/rnd/pdf/1998/02/RND_0926-5287_1998_38_2_ART0001.pdf
- Cirio, A., & Tebot, I. (1998). *Fisiología metabólica de los rumiantes*. Facultad de Veterinaria.

- Claramunt, M. (2015). *Efecto de la oferta de forraje sobre parámetros productivos, reproductivos y eficiencia de uso del forraje de vacas primíparas en pastoreo de Campos de Basalto* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.
- Claramunt, M., Meikle, A., & Soca, P. (2019). Metabolic hormones, grazing behaviour, offspring physical distance and productive response of beef cow grazing at two herbage allowances. *Animal*, 14(7), 1520-1528. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003021>
- Clariget, J. M., Román, L., Karlen, M., Álvarez-Oxiley, A., Lopez-Mazz, C., & Perez-Clariget, R. (2016). Supplementation with a mixture of whole rice bran and crude glycerin on metabolic responses and performance of primiparous beef cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45(1), 16-25.
- Comeron, E., & Peyraud, J. (1993). Prediction of herbage digestibility ingested by dairy cows. *Revista Argentina de Producción Animal*, 13, 23-30.
- Dañobeytia, I., Niell, F., & Rossi, G. (2015). *Curvas de crecimiento en terneros Hereford, A. Angus y cruzas, desde el nacimiento hasta los seis meses de edad* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Di Marco, O. N. (2000). *Crecimiento de vacunos para carne*. INTA.
- Di Marco, O. N. (2004). *Fisiología del crecimiento de vacunos*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/16-fisiologia_del_crecimiento.pdf
- Do Carmo, M. (2013). *Efecto de la oferta de forraje y genotipo vacuno sobre la productividad de la cría vacuna en campos de Uruguay* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.

- Do Carmo, M., Cardozo, G., Jaurena, M., & Soca, P. (2019). Demonstrating control of forage allowance for beef cattle grazing Campos grassland in Uruguay to improve system productivity. *Tropical Grasslands*, 7(1), 35-47.
- Duckett, S. K., Fernandez Rosso, C., Volpi Lagreca, G., Miller, M. C., Neel, J. P. S., Lewis, R. M., Swecker, W. S., & Fontenot, J. P. (2014). Effect of frame size and time-on-pasture on steer performance, longissimus muscle fatty acid composition, and tenderness in a forage-finishing system. *Journal of Animal Science*, 92(10), 4767-4774. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7411>
- Edwards, A. K., Dunlap, K. A., Spencer, T. E., & Satterfield, M. C. (2020). Identification of pathways associated with placental adaptation to maternal nutrient restriction in sheep. *Genes*, 11(9), Artículo e1031. <https://www.mdpi.com/2073-4425/11/9/1031/pdf>
- Fowden, A. L., Ward, J. W., Wooding, F. P., Forhead, A. J., & Constancia, M. (2006). Programming placental nutrient transport capacity. *The Journal of Physiology*, 572(1), 5-15. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.104141>
- Freetly, H. C., Ferrell, C. L., & Jenkins, T. G. (2000). Timing of realimentation of mature cows that were feed-restricted during pregnancy influences calf birth weights and growth rates. *Journal of Animal Science*, 78(11), 2790-2796. <https://doi.org/10.2527/2000.78112790x>
- Funston, R. N., Grings, E. E., Roberts, A. J., & Tibbitts, B. T. (2016). Invited review: Choosing a calving date. *The Professional Animal Scientist*, 32(2), 145-153. <https://doi.org/10.15232/pas.2015-01463>
- Funston, R. N., Larson, D. M., & Vonnahme, K. A. (2010). Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance: Implications for beef cattle production. *Journal of Animal Science*, 88(13), e205-e215. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2351>

- Funston, R. N., & Summers, A. F. (2013). Epigenetics: Setting up lifetime production of beef cows by managing nutrition. *Annual Review of Animal Biosciences*, *1*, 339-363. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103649>
- Gonçalves, E. N., Carvalho, P. C. F., Silva, C. E. G., Santos, D. T., Diaz, J. A. Q., Baggio, C., & Nabinger, C. (2009). Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: Padrões de desfolhação e seleção de dietas. *Journal of Animal Science*, *38*, 611-617.
- Gootwine, E., Spencer, T. E., & Bazer, F. W. (2007). Litter-size-dependent intrauterine growth restriction in sheep. *Animal*, *1*(4), 547-564. <https://doi.org/10.1017/S1751731107691897>
- Greenwood, P. L., Hunt, A. S., Hermanson, J. W., & Bell, A. W. (1998). Effects of birth weight and postnatal nutrition on neonatal sheep: I. Body growth and composition, and some aspects of energetic efficiency. *Journal of Animal Science*, *76*(9), 2354-2367. <https://doi.org/10.2527/1998.7692354x>
- Greenwood, P. L., Hunt, A. S., Hermanson, J. W., & Bell, A. W. (2000). Effects of birth weight and postnatal nutrition on neonatal sheep: II. Skeletal muscle growth and development. *Journal of Animal Science*, *78*(1), 50-61. <https://doi.org/10.2527/2000.78150x>
- Grimard, B., Humblot, P., Ponter, A. A., Mialot, J. P., Sauvant, D., & Thibier, M. (1995). Influence of postpartum energy restriction on energy status, plasma LH and oestradiol secretion and follicular development in suckled beef cows. *Journal of Reproduction and Fertility*, *104*(1), 173-179. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1040173>
- Grummer, R. R. (1995). Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *Journal of Animal Science*, *73*(9), 2820-2833. <https://doi.org/10.2527/1995.7392820x>

- Gutiérrez, V., Espasandin, A. C., Astessiano, A. L., Casal, A., López-Mazz, C., & Carriquiry, M. (2012). Calf fetal and early life nutrition on grazing conditions: Metabolic and endocrine profiles and body composition during the growing phase. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96, 1-12.
- Gutiérrez, V., Espasandin, A. C., Machado, P., Astessiano, A. L., Casal, A., López-Mazz, C., & Carriquiry, M. (2013). Nutrición del ternero durante la etapa fetal y el primer año de vida en sistemas de pastoreo: Impacto en el crecimiento, composición corporal y características del tejido muscular. En M. Carriquiry (Ed.), *Metabolismo de la vaca de carne y su cría en pastoreo de campo nativo: Un enfoque endócrino-molecular* (pp. 53-60). INIA.
- Hammer, C. J., Thorson, J. F., Meyer, A. M., Redmer, D. A., Luther, J. S., Neville, T. L., Reed, J. J., Reynolds, L. P., Caton, J. S., & Vonnahme, K. A. (2011). Effects of maternal selenium supply and plane of nutrition during gestation on passive transfer of immunity and health in neonatal lambs. *Journal of Animal Science*, 89(11), 3690-3698.
<https://doi.org/10.2527/jas.2010-3724>
- Haydock, K. P., & Shaw, N. H. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15, 663-670.
<https://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000138.pdf>
- Helrich, E. (Ed.). (1990). *Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists* (15th ed.; Vol. 1). AOAC.
<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Hodgson, J. (1990). *Grazing management: Science into practice*. Longman.
- Holtenius, P., & Holtenius, K. (2007). A model to estimate insulin sensitivity in dairy cows. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 49(1), Artículo e29.
<https://actavetscand.biomedcentral.com/articles/10.1186/1751-0147-49-29>

- Houghton, P. L., Lemenager, R. P., Horstman, L. A., Hendrix, K. S., & Moss, G. E. (1990). Effects of body composition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. *Journal of Animal Science*, *68*(5), 1438-1446.
<https://doi.org/10.2527/1990.6851438x>
- Kamal, M. M., Van Eetvelde, M., Vandaele, L., & Opsomer, G. (2017). Environmental and maternal factors associated with gross placental morphology in dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals*, *52*(2), 251-256.
- Kehoe, S. I., Jayarao, B. M., & Heinrichs, A. J. (2007). Survey of bovine colostrum composition and colostrum management practices on Pennsylvania dairy farms. *Journal of Dairy Science*, *90*(9), 4108-4116.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030207718696>
- Kelly, R. W. (1992). Lamb mortality and growth to weaning in commercial Merino flocks in Western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, *43*(6), 1399-1416.
- Kessel, S., Stroehl, M., Meyer, H. H., Hiss, S., Sauerwein, H., Schwarz, F. J., & Bruckmaier, R. M. (2008). Individual variability in physiological adaptation to metabolic stress during early lactation in dairy cows kept under equal conditions. *Journal of Animal Science*, *86*(11), 2903-2912.
<https://doi.org/10.2527/jas.2008-1016>
- Kolkman, I., Opsomer, G., Aerts, S., Hoflack, G., Laevens, H., & Lips, D. (2010). Analysis of body measurements of newborn purebred Belgian Blue calves. *Animal*, *4*(5), 661-671.
<https://doi.org/10.1017/S1751731109991558>
- Kroker, G. A., & Cummins, J. (1979). The effect of nutritional restriction on Hereford heifers in late pregnancy. *Australian Veterinary Journal*, *55*(10), 467-474.

- Laporta, J., Astessiano, A. L., López-Mazz, C., Soca, P., Espasandin, A. C., & Carriquiry, M. (2013). Efecto de la asignación de forraje de campo nativo en vacas de carne de diferente grupo genético i: Perfiles endócrinos y expresión hepática de genes del eje somatotrófico. En M. Carriquiry (Ed.), *Metabolismo de la vaca de carne y su cría en pastoreo de campo nativo: Un enfoque endócrino-molecular* (pp. 17-26). INIA.
- Laporta, J., Astessiano, A. L., López-Mazz, C., Soca, P., Espasandin, A. C., & Carriquiry, M. (2014). Effects of herbage allowance of native grasslands in purebred and crossbred beef cows: Metabolic, endocrine and hepatic gene expression profiles through the gestation-lactation cycle. *Animal*, 8(7), 1119-1129. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000986>
- Larson, D. M., Martin, J. L., Adams, D. C., & Funston, R. N. (2009). Winter grazing system and supplementation during late gestation influence performance of beef cows and steer progeny. *Journal of Animal Science*, 87(3), 1147-1155. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7110207/>
- Laven, R. A., & Peters, A. R. (2001). Gross morphometry of the bovine placentome during gestation. *Reproduction in Domestic Animals*, 36(6), 289-296. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1439-0531.2001.00297.x>
- Laviola, L., Perrini, S., Belsanti, G., Natalicchio, A., Montrone, C., Leonardini, A., Vimercati, A., Scioscia, M., Selvaggi, L., Giorgino, R., Greco, P., & Giorgino, F. (2005). Intrauterine growth restriction in humans is associated with abnormalities in placental insulin-like growth factor signaling. *Endocrinology*, 146(3), 1498-1505. <https://academic.oup.com/endo/article/146/3/1498/2501089>

- Littell, R. C., Pendergast, J., & Natarajan, R. (2000). Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in Medicine*, *19*(13), 1793-1819.
<https://faculty.washington.edu/heagerty/Courses/VA-longitudinal/private/Littell-StatMed2000.pdf>
- Lucy, M. C. (2008). Functional differences in the growth hormone and insulin-like growth factor axis in cattle and pigs: Implications for post-partum nutrition and reproduction. *Reproduction in Domestic Animals*, *43*(s2), 31-39. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01140.x>
- Martin, J. L., Vonnahme, K. A., Adams, D. C., Lardy, G. P., & Funston, R. N. (2007). Effects of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *Journal of Animal Science*, *85*(3), 841-847.
<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1104&context=animalscinbcr>
- McCarthy, S. D., Waters, S. M., Kenny, D. A., Diskin, M. G., Fitzpatrick, R., Patton, J., Wathes, C., & Morris, D. G. (2010). Negative energy balance and hepatic gene expression patterns in high-yielding dairy cows during the early postpartum period: A global approach. *Physiological Genomics*, *42A*(3), 188-199.
<https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/physiolgenomics.00118.2010>
- Meikle, A., Adrien, M., Mattiauda, D. A., & Chilibroste, P. (2013). Effect of sward condition on metabolic endocrinology during the early postpartum period in primiparous grazing dairy cows and its association with productive and reproductive performance. *Animal Feed Science and Technology*, *186*(3-4), 139-147.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.10.003>

- Meikle, A., Cavestany, D., Blanc, J., Krall, E., Uriarte, G., Rodríguez-Irazoqui M., Ruprechter, G., Ferraris, A., & Chilibroste, P. (2005). Perfiles metabólicos y endocrinos de la vaca lechera sobre pastoreo controlado. *Revista Veterinaria*, 40, 25-40.
- Meikle, A., Kulcsar, M., Chilliard, Y., Febel, H., Delavaud, C., Cavestany, D., & Chilibroste, P. (2004). Effects of parity and body condition at parturition on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction*, 127(6), 727-737. <https://doi.org/10.1530/rep.1.00080>
- Moojen, E. L., & Maraschin, G. E. (2002). Potencial produtivo de uma pastagem nativa do Rio Grande do Sul submetida a níveis de oferta de forragem. *Ciência Rural*, 32(1), 127-132.
<https://www.scielo.br/j/cr/a/k6M6sD7gstxgwYT9fxjqLjy/?format=pdf&lang=pt>
- Mott, G. O. (1960). Grazing pressure and the measurement of pasture production. En *Proceedings of the eighth International Grassland Congress* (pp. 607-611). International Grassland Congress.
- Nabinger, C., de Moraes, A., & Maraschin, G. E. (2000). Campos in Southern Brazil. En G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger, & F. Carvalho (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 355-376). CABI.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7146/1/G-Lemaire-J-Hodgson-A-Moraes-P-C-F-Cavalho-C-Nabinger-Grassland-Ecophysiology-and-Grazing-Ecology.pdf>
- Ndlovu, T., Chimonyo, M., Okoh, A., Muchenje, V., Dzama, K., & Raats, J. G. (2007). Assessing the nutritional status of beef cattle: Current practices and future prospects. *African Journal of Biotechnology*, 6(24), 2727-2734.
<https://academicjournals.org/journal/AJB/article-full-text-pdf/29953648679>

- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2015). *Regiones Agropecuarias del Uruguay*. MGAP.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2019). *Anuario estadístico agropecuario 2019*. MGAP.
- Orcasberro, S. (2017). *Emisiones de metano y consumo de vacas de primera cría bajo dos ofertas de campo natural* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.
- Owens, F. N., Dubeski, P., & Hanson, C. F. (1993). Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science*, 71(11), 3138-3150. <https://academic.oup.com/jas/article-abstract/71/11/3138/4719016>
- Pereira, I., Laborde, D., Carriquiry, M., López-Villalobos, N., & Meikle, A. (2010). Productive and reproductive performance of Uruguayan Holstein and Uruguayan Holstein x New Zealand Holstein Friesian cows in a predominantly pasture-based system. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 70, 306-310. <http://spluy.com/documentos/articulos/biotipo/5.pdf>
- Piaggio, L. (1994). *Pasture and animal traits associated with intake and selectivity of grazing steers on rangeland* [Disertación doctoral]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Piccione, G., Messina, V., Marafioti, S., Casella, S., Giannetto, C., & Fazio, F. (2012). Changes of some haematochemical parameters in dairy cows during late gestation, post-partum, lactation and dry periods. *Veterinarija ir Zootechnika*, 58(80), 59-64. <https://vetzoo.lsmuni.lt/data/vols/2012/58/pdf/piccione.pdf>
- Pritchard, S. (s.f.). *Nutrición en vaquillonas de reposición*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/63-nutricion_vaquillonas.pdf

- Quintans, G., Banchemo, G., Carriquiry, M., López-Mazz, C., & Baldi, F. (2010). Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Animal Production Science*, 50(10), 931-938.
- Quintans, G., Vázquez, A. I., & Weigel, K. A. (2009). Effect of suckling restriction with nose plates and premature weaning on postpartum anestrous interval in primiparous cows under range conditions. *Animal Reproduction Science*, 116(1-2), 10-18.
- Reed, J. A., Garrison, M. D., McEvers, T. J., May, N. D., Walter, L. J., Hutcheson, J. P., & Lawrence, T. E. (2017). Objective biometric measurements of calf-fed Holstein steers fed in confinement. *Journal of Animal Science*, 95(3), 1205-1208.
<https://academic.oup.com/jas/article/95/3/1205/4703763?login=false>
- Reynolds, L. P., Borowicz, P. P., Vonnahme, K. A., Johnson, M. L., Grazul-Bilska, A. T., Wallace, J. C., Caton, J. S., & Redmer, D. A. (2005). Animal models of placental angiogenesis. *Placenta*, 26(10), 689-708.
- Reynolds, L. P., Millaway, D. S., Kirsch, J. D., Infeld, J. E., & Redmer, D. A. (1990). Growth and in-vitro metabolism of placental tissues of cows from day 100 to day 250 of gestation. *Journal of Reproduction and Fertility*, 89(1), 213-222.
https://rep.bioscientifica.com/downloadpdf/journals/rep/89/1/jrf_89_1_023.pdf
- Reynolds, L. P., & Redmer, D. A. (1995). Utero-placental vascular development and placental function. *Journal of Animal Science*, 73(6), 1839-1851.
<https://doi.org/10.2527/1995.7361839x>
- Robinson, J. J., Sinclair, K. D., & McEvoy, T. G. (1999). Nutritional effects on foetal growth. *Animal Science*, 68(2), 315-331.

- Rodríguez, E. J., Carande, V. G., & Rodríguez, V. A. (1985). Efecto de la restricción y la realimentación sobre la concentración de metabolitos sanguíneos. *Producción Animal*, 5, 1-12.
- Roseler, D. K., Ferguson, J. D., Sniffen, C. J., & Herrema, J. (1993). Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 76(2), 525-534.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030293773725/pdf?md5=edc67fd872d6b3c5bcf319d486d1f832&pid=1-s2.0-S0022030293773725-main.pdf>
- Rotta, P. P., Valadares Filho, S. C., Gionbelli, T. R. S., Costa e Silva, L. C., Engle, T. E., Marcondes, M. I., Guimaraes, S., Nascimento, C., Carvalho, B., Silva, A., & Oliveira, J. R. S. (2015). Effects of day of gestation and feeding regimen in Holstein x Gyr cows: III. Placental adaptations and placentome gene expression. *Journal of Dairy Science*, 98(5), 3224-3235.
<https://doi.org/10.3168/jds.2014-8283>
- Rovira, J. (1996). *Manejo de los rodeos de cría en pastoreo*. Hemisferio Sur.
- Rowlands, G. J., Manston, R., Stark, A. J., Russell, A. M., Collis, K. A., & Collis, S. C. (1980). Changes in albumin, globulin, glucose and cholesterol concentrations in the blood of dairy cows in late pregnancy and early lactation and relationships with subsequent fertility. *The Journal of Agricultural Science*, 94(3), 517-527.
- San Julián, R., Alonso, J., & Dávila, P. (2015). *Efecto de diferentes ofertas de forraje del campo natural durante el pre y posparto de vacas primíparas sobre la respuesta productiva del ternero* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Scarlato, S. (2011). *Conducta de vacas de cría en pastoreo de campo nativo: Efecto de la oferta de forraje sobre la expresión del patrón temporal y espacial de pastoreo* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.

Short, R. E., & Adams, D. C. (1988). Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle reproduction. *Canadian Journal of Animal Science*, 68(1), 29-39. <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjas88-003?download=true>

Simeone, A., & Soca, P. (1998). *Manejo del rodeo de cría en base a estado corporal, altura de pasto y control de amamantamiento*. MGAP; INIA; Plan Agropecuario; Sociedad Rural de Río Negro.

Sinclair, K. D., Molle, G., Revilla, R., Roche, J. F., Quintans, G., Marongiu, L., Sanz, A., Mackey, D. R., & Diskin, M. G. (2002). Ovulation of the first dominant follicle after day 21 post-partum in suckling beef cows. *Animal Science*, 75(1), 115-126. <https://doi.org/10.1017/S1357729800052899>

Soares, A., Carvalho, C. F., Nabinger, C., Frizzo, A., Pinto, C. E., Fontoura Júnior, J. A., Semmelmann, C., & da Trindade, J. (2003). Effect of changing herbage allowance on primary and secondary production of natural pasture. En N. Allosopp, A. R. Palmer, S. J. Milton, G. I. H. Kerley, K. P. Kirkman, R. Hurt, & C. J. Brown (Eds.), *Proceedings of the 7th International Rangeland Congress* (pp. 966-968). IRC.

Soares, A., Carvalho, C., Nabinger, C., Semmelmann, C., Da Trindade, J. K., Guerra, E., De Freitas, T., Pinto, C. E., Fontoura Júnior, J. A., & Frizzo, A. (2005). Animal and forage production on native pasture under different herbage allowance. *Ciência Rural*, 35(5), 1148-1154. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000500025>

Soca, P., Carriquiry, M., Claramunt, M., Gestido, V., & Meikle, A. (2013). Metabolic and endocrine profiles of primiparous beef cows grazing native grassland: 1. Relationships between body condition score at calving and metabolic profiles during the transition period. *Animal Production Science*, 54(7), 856-861. <https://doi.org/10.1071/AN13250>

- Soca, P., Carriquiry, M., Do Carmo, M., Scarlato, S., Astessiano, A. L., Genro, C., Claramunt, M., & Espasandin, A. C. (2013). Oferta de forraje del campo natural y resultado productivo de los sistemas de cría vacuna del Uruguay: I. Producción, uso y conversión del forraje aportado por campo natural. En G. Quintans & A. Scarsi (Eds.), *Seminario de actualización técnica: Cría Vacuna* (pp. 97-118). INIA.
- Soca, P., Claramunt, M., & Do Carmo, M. (2007). Sistemas de cría vacuna en ganadería pastoril sobre campo nativo sin subsidios: Propuesta tecnológica para estabilizar la producción de terneros con intervenciones de bajo costo y de fácil implementación. *Avances en Producción Animal*, 32(1-2), 3-26. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/31673/Sistemas%20de%20cria%20vacuna.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Soca, P., Espasandin, A., & Carriquiry, M. (2013). Efecto de la oferta de forraje y grupo genético de las vacas sobre la productividad y sostenibilidad de la cría vacuna en campo natural. En P. Soca, M. Carriquiry, & A. Espasandin (Eds.), *Efecto de la oferta de forraje y grupo genético de las vacas sobre la productividad y sostenibilidad de la cría vacuna en campo natural* (pp. 9-12). INIA.
- Soca, P., & Orcasberro, R. (1992). Propuesta de manejo del rodeo de cría en base a estado corporal, altura del pasto y aplicación de destete temporario. En *Jornada de producción animal* (pp. 54-56). Facultad de Agronomía.
- Sollenberger, L. E., Moore, J. E., Allen, V. G., & Pedreira, C. G. (2005). Reporting forage allowance in grazing experiments. *Crop Science*, 45(3), 896-900. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0216>
- Stalker, L. A., Ciminski, L. A., Adams, D. C., Klopfenstein, T. J., & Richard, T. C. (2007). Effects of weaning date and prepartum protein supplementation on cow performance and calf growth. *Rangeland Ecology & Management*, 60(6), 578-587. <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/download/19801/19428>

- Stevenson, K., Lillycrop, K. A., & Silver, M. J. (2020). Fetal programming and epigenetics. *Current Opinion in Endocrine and Metabolic Research*, 13, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.coemr.2020.07.005>
- Sykes, A. R. (1978). An assessment of the value of plasma urea nitrogen and albumin concentrations as monitors of the protein status of sheep. *BSAP Occasional Publication*, 1, 143-154.
- Topps, J., & Thompson, J. (1984). *Blood characteristics and the nutrition of ruminants*. HMSO.
- Trujillo, A. I., Orcasberro, R., Beretta, V., Franco, J., & Burgueño, J. (1996). Performance of Hereford cows under conditions of varied forage availability during late gestation. En International Atomic Energy Agency (Ed.), *Development of feed supplementation strategies for improving ruminant productivity on small-holder farms in Latin America through the use of immunoassay techniques* (pp. 69-79).
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/27/070/27070468.pdf?r=1
- Uruguay XXI. (2019). *Exportaciones por capítulos*.
<https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/exportaciones-por-capitulos/>
- Van der Drift, S. G. A., Houweling, M., Schonewille, J. T., Tielens, A. G. M., & Jorritsma, R. (2012). Protein and fat mobilization and associations with serum β -hydroxybutyrate concentrations in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(9), 4911-4920.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203021200505X>
- Van Eetvelde, M., Kamal, M. M., Hostens, M., Vandaele, L., Fiems, L. O., & Opsomer, G. (2016). Evidence for placental compensation in cattle. *Animal*, 10(8), 1342-1350.
<https://doi.org/10.1017/S1751731116000318>

- Van Soest, P. J., Roberston, J. B., Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597.
- Vargas, C. A., Olson, T. A., Chase Jr., C. C., Hammond, A. C., & Elzo, M. A. (1999). Influence of frame size and body condition score on performance of Brahman cattle. *Journal of Animal Science*, 77(12), 3140-3149.
<https://pubag.nal.usda.gov/download/14866/pdf>
- Vickers, M. H. (2014). Early life nutrition, epigenetics and programming of later life disease. *Nutrients*, 6(6), 2165-2178. <https://www.mdpi.com/2072-6643/6/6/2165/pdf>
- Vizcarra, J. A., Ibañez, W., & Orcasberro, R. (1986). Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas*, 7(1), 45-47.
- Vonnahme, K. A., Zhu, M. J., Borowicz, P. P., Geary, T. W., Hess, B. W., Reynolds, L. P., Caton, J. S., Means, W. J., & Ford, S. P. (2007). Effect of early gestational undernutrition on angiogenic factor expression and vascularity in the bovine placentome. *Journal of Animal Science*, 85(10), 2464-2472. <https://pubag.nal.usda.gov/download/8769/pdf>
- Waldner, C. L., & Rosengren, L. B. (2009). Factors associated with serum immunoglobulin levels in beef calves from Alberta and Saskatchewan and association between passive transfer and health outcomes. *The Canadian Veterinary Journal*, 50(3), 275-281.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2643452/>
- Wallace, J. M., Regnault, T. R. H., Limesand, S. W., Hay Jr, W. W., & Anthony, R. V. (2005). Investigating the causes of low birth weight in contrasting ovine paradigms. *The Journal of Physiology*, 565(1), 19-26.
<https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1113/jphysiol.2004.082032>

- Wang, T., Huo, Y. J., Shi, F., Xu, R. J., & Hutz, R. J. (2005). Effects of intrauterine growth retardation on development of the gastrointestinal tract in neonatal pigs. *Neonatology*, 88(1), 66-72.
- Williams, C. H., David, D. J., & Iismaa, O. (1962). The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. *The Journal of Agricultural Science*, 59(3), 381-385.
- Wittwer, F. (1983). *Manual de Patología Clínica Veterinaria*. Universidad Austral de Chile.
- Wittwer, F. (1996). *Diagnóstico de desbalances de energía y proteínas mediante el análisis de muestras de leche y su impacto productivo en rebaños lecheros*. INIA.
<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/36382>
- Wright, I. A., Rhind, S. M., Russel, A. J. F., Whyte, T. K., McBean, A. J., & McMillen, S. R. (1987). Effects of body condition, food intake and temporary calf separation on the duration of the post-partum anoestrous period and associated LH, FSH and prolactin concentrations in beef cows. *Animal Science*, 45(3), 395-402.
- Wu, G. (1998). Intestinal mucosal amino acid catabolism. *The Journal of Nutrition*, 128(8), 1249-1252.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022316622072698>
- Wu, G., Bazer, F. W., Wallace, J. M., & Spencer, T. E. (2006). Board-invited review: Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. *Journal of Animal Science*, 84(9), 2316-2337.
<https://doi.org/10.2527/jas.2006-156>
- Yang, M., Zou, Y., Wu, Z. H., Li, S. L., & Cao, Z. J. (2015). Colostrum quality affects immune system establishment and intestinal development of neonatal calves. *Journal of Dairy Science*, 98(10), 7153-7163.
<https://doi.org/10.3168/jds.2014-9238>

Zhu, M. J., Du, M., Hess, B. W., Means, W. J., Nathanielsz, P. W., & Ford, S. P. (2007). Maternal nutrient restriction upregulates growth signaling pathways in the cotyledonary artery of cow placentomes. *Placenta*, 28(4), 361-368. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2006.04.005>