

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**AJUSTE DE MODELOS DE CRECIMIENTO Y ESTUDIO DEL EFECTO DE LA
OFERTA DE FORRAJE Y DEL GRUPO GENÉTICO DE LAS VACAS SOBRE LA
EVOLUCIÓN DE PESO VIVO DE SUS HIJAS HASTA LOS 26 MESES DE EDAD**

por

Federico RUBIO VILLASANTE

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2024

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

Ing. Agr. (MSc) Martín Claramunt

Codirectora:

Ing. Agr. (Dra.) Ana C. Espasandin

Tribunal:

Ing. Agr. (Mag.) Andrea Larracharte

Ing. Agr. (Dra.) Ana Espasandin

Ing. Agr. (Mag.) Oscar Bentancur

Fecha:

19 de diciembre de 2024

Estudiante:

Federico Rubio Villasante

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a toda mi familia y amigos, especialmente a mis padres, quienes me han acompañado y apoyado a lo largo de todo este tiempo, brindándome la oportunidad de estudiar y formarme como profesional.

A mis tutores, Martín Claramunt y Ana Espasandin, por orientarme, compartirme sus conocimientos y ayudarme en este proceso.

También quiero agradecer a Andrea Larracharte, Patricia Aparicio y Lucía Pérez, quienes, de alguna forma, me apoyaron y me brindaron valiosas enseñanzas a lo largo de este camino.

Por último, agradecer a la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República y a todos los docentes que forman parte de ella, por permitirme formarme en esta carrera de Ingeniero Agrónomo.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS.....	6
RESUMEN	8
SUMMARY	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 CRECIMIENTO Y DESARROLLO	13
3.1.1 Crecimiento diferencial de los tejidos.....	15
3.1.2 Factores que afectan el crecimiento prenatal: programación fetal...	17
3.1.3 Factores que afectan el crecimiento durante la lactancia.....	20
3.1.4 Factores que afectan el crecimiento post-destete	22
3.1.5 Crecimiento compensatorio	25
3.2 MODELOS DE CRECIMIENTO	28
3.2.1 Modelos lineales	28
3.2.2 Modelos no lineales	29
3.3 PUBERTAD Y PRIMER ENTORE	31
3.3.1 Proceso de desencadenamiento de la pubertad	31
3.3.2 Factores que afectan la aparición de la pubertad en vaquillonas	32
3.4 IMPACTO DE LAS MEDIDAS DE MANEJO APLICADAS EN LA ETAPA DE CRÍA SOBRE EL PESO DE LAS TERNERAS AL DESTETE Y EN LA ETAPA DE RECRÍA	36
3.4.1 Efecto del nivel de asignación de forraje en la etapa de parto y lactancia	37
3.4.2 Nutrición preferencial de la ternera al pie de la madre	38

3.4.3 Efecto de la fecha de parto sobre el peso al destete y la performance productiva y reproductiva de la ternera	40
3.5 ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA EDAD AL PRIMER SERVICIO DE LAS VAQUILLONAS: MANEJO NUTRICIONAL POSTDESTETE	41
3.5.1 Recría sobre campo natural.....	41
3.5.2 Campo natural diferido.....	44
3.5.3 Utilización de mejoramientos extensivos de campo	46
3.5.4 Suplementación invernal de la recría sobre campo natural	49
3.5.5 Uso de pasturas sembradas y verdeos durante el invierno con o sin suplementación	53
3.6 HIPÓTESIS	55
4. MATERIALES Y MÉTODOS	56
4.1 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO Y DE LA BASE DE DATOS	56
4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	58
5. RESULTADOS.....	62
6. DISCUSIÓN	69
7. CONCLUSIONES.....	77
8. BIBLIOGRAFÍA	78
9. ANEXOS	98

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro Nro.	Página
Cuadro 1 Modelo explicativo del control endócrino de la pubertad en vaquillonas	32
Cuadro 2 Resultados experimentales: ganancia diaria de peso y edad a la pubertad	39
Cuadro 3 Distribución estacional de la producción de forraje de diferentes campos naturales	42
Cuadro 4 Producción estacional y anual del campo natural y de un mejoramiento extensivo de campo	47
Cuadro 5 Valor nutritivo del forraje de mejoramientos con distintas leguminosas y del campo natural sobre Cristalino	47
Cuadro 6 Producción individual y por hectárea de terneras pastoreando Lotus subbiflorus a diferentes ofertas de forraje	48
Cuadro 7 Ganancia diaria de peso de terneras y vaquillonas pastoreando durante el invierno mejoramiento de campo	49
Cuadro 8 Tasa de ganancia diaria de terneras durante su primer invierno bajo distintos regímenes alimenticios	51
Cuadro 9 Tasa de ganancia diaria de vaquillonas durante su segundo invierno bajo distintos regímenes alimenticios	52
Cuadro 10 Efecto de la asignación de forraje y la suplementación sobre la ganancia de terneros Hereford	53
Cuadro 11 Distribución estacional de la oferta de forraje (kg MS/kg PV)	56
Cuadro 12 Número de vaquillonas y registros de peso vivo según el tratamiento asignado a sus madres	57
Cuadro 13 Efecto de la oferta de forraje, grupo genético y edad sobre el peso de vaquillonas	62
Cuadro 14 Modelos de regresión lineal y no lineal, sus parámetros y coeficientes de determinación, AIC y BIC	66
Figura Nro.	Página
Figura 1 Evolución de peso vivo en función de la edad del animal	14
Figura 2 Tasa de ganancia diaria de peso en función de la edad del animal	14
Figura 3 Tasas de crecimiento de varios tejidos y partes del animal según su precocidad	16

Figura 4 Efecto de la nutrición materna sobre el desarrollo del tejido muscular y adiposo del ternero	18
Figura 5 Composición de la media res según el potencial de crecimiento	23
Figura 6 Efecto del sexo sobre el peso relativo de los tejidos	24
Figura 7 Composición de la ganancia de peso en función de la tasa de ganancia diaria. 25	
Figura 8 Estructura del perfil de un campo natural de Basalto con 900 kg de MS disponible/ha.....	44
Figura 9 Estructura del perfil de un campo natural de Basalto con 2000 kg de MS disponible/ha.....	45
Figura 10 Frecuencia relativa de los registros de peso en función de la edad de las vaquillonas.....	58
Figura 11 Evolución de peso vivo de vaquillonas según la oferta de forraje pre y postparto	63
Figura 12 Evolución de peso vivo de las vaquillonas según el grupo genético de la madre	65
Figura 13 Curva de crecimiento de las vaquillonas estimada a partir de los modelos de regresión lineal	67
Figura 14 Curva de crecimiento de las vaquillonas estimada a partir de los modelos de regresión no lineal.....	68

RESUMEN

A partir del año 2007, se llevó a cabo un experimento en la Estación Experimental Profesor Bernardo Rosengurt para evaluar el efecto de la modificación de la oferta de forraje de campo natural sobre la performance productiva y reproductiva de vacas de cría de diversos grupos genéticos. Se utilizó un diseño factorial que combinó dos niveles de oferta de forraje en el pre y postparto: Alta y Baja, con dos niveles del factor grupo genético: Puras y Cruzas, resultando así los siguientes tratamientos: Alta Cruza, Alta Pura, Baja Cruza y Baja Pura. El objetivo de este trabajo en particular es evaluar el efecto de la oferta de forraje a la que se manejaron las vacas durante el pre y postparto y del grupo genético de éstas sobre el peso vivo de sus hijas desde el nacimiento hasta los 26 meses de edad. Se utilizó una base de datos conformada por 2373 registros de peso vivo, correspondientes a 182 vaquillonas hijas de las vacas manejadas en el experimento antes mencionado, que nacieron entre los años 2007 y 2014. Considerando al peso vivo de las vaquillonas como la variable de interés, se formuló un modelo mixto en el cual se incluyó como efectos fijos la oferta de forraje a la cual fue manejada la madre de la vaquillona, el grupo genético de la madre, la edad de la vaquillona, así como las interacciones dobles entre la edad de las vaquillonas con los otros dos factores antes mencionados. Como efectos aleatorios, se consideraron a la vaquillona y el año de su nacimiento. En base a este modelo, la oferta de forraje asignada a las madres de las mismas, así como las interacciones entre la edad y la oferta y entre la edad y el grupo genético de la madre, tuvieron un efecto significativo en el peso vivo de las vaquillonas, mientras que el grupo genético de la madre no. Teniendo en cuenta los factores incluidos como efectos fijos en el modelo, se realizaron pruebas de Tukey para analizar cada uno de ellos. Los resultados de estas pruebas no mostraron diferencias significativas entre los pesos de las vaquillonas en cada una de las edades evaluadas considerando, por un lado, los niveles de oferta de forraje (alta vs baja) y, por otro lado, los niveles del factor grupo genético (pura vs crua). En cuanto a los efectos individuales analizados, se detectaron diferencias significativas entre los niveles de oferta de forraje, siendo las vaquillonas hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje más pesadas que las hijas de vacas manejadas a baja oferta (208 vs 205 ± 5 kg). Por su parte, no se encontró diferencias significativas en el peso vivo promedio de las vaquillonas según el grupo genético de sus madres. Adicionalmente, se propuso otro modelo mixto con el objetivo de evaluar una serie de modelos estadísticos que describieran el crecimiento experimentado por las vaquillonas durante el período de análisis. Este modelo consideró el peso vivo de las vaquillonas como la variable de interés y, como efectos fijos, el tratamiento que recibieron las madres, el genotipo del padre y la edad de las vaquillonas expresada en días. Como efectos aleatorios, se incluyeron a la vaquillona y el año de su nacimiento. Se evaluaron modelos de regresión lineal (como el modelo de primer y segundo orden) y modelos de regresión no lineal (como el de Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico). Todos los modelos mostraron un ajuste muy alto a los datos, con valores de r^2 ajustado en torno a 0,93, no existiendo prácticamente diferencias respecto a este coeficiente entre los modelos evaluados. En cuanto a los coeficientes de AIC y BIC logrados por estos modelos, se encontró que, dentro de los modelos de regresión lineal, el modelo de segundo orden fue el que presentó los menores valores de dichos coeficientes, mientras que, dentro de los modelos de regresión no lineal, lo fue el modelo de Brody. Por lo tanto, dentro del grupo de modelos de regresión lineal, el modelo de segundo orden fue el modelo que mejor se ajustó a la base de datos, mientras que, dentro del grupo de modelos de regresión no lineal, fue el modelo de Brody.

Palabras claves: vaquillonas, crecimiento, genotipo, oferta de forraje, modelos matemáticos

SUMMARY

Since 2007, an experiment has been carried out at the Professor Bernardo Rosengurt Experimental Station to evaluate the effect of modifying the supply of natural pasture forage on the productive and reproductive performance of breeding cows of various genetic groups. A factorial design was used that combined two levels of pre- and postpartum forage supply: High and Low, with two levels of the genetic group factor: Purebred and Crossbred, resulting in the following treatments: High Crossbred, High Purebred, Low Crossbred and Low Purebred. The objective of this particular work is to evaluate the effect of the forage supply with which the cows were managed during the pre- and postpartum and their genetic group on the live weight of their daughters from birth to 26 months of age. A database consisting of 2373 live weight records was used, corresponding to 182 heifers, daughters of the cows managed in the aforementioned experiment, which were born between 2007 and 2014. Considering the live weight of the heifers as the variable of interest, a mixed model was formulated in which the forage supply at which the heifer's mother was managed, the genetic group of the mother, the age of the heifer, as well as the double interactions between the age of the heifers and the other two factors mentioned above were included as fixed effects. The heifer and the year of its birth were considered as random effects. Based on this model, the forage supply assigned to the mothers of the heifers, as well as the interactions between age and supply and between age and the genetic group of the mother, had a significant effect on the live weight of the heifers, while the genetic group of the mother did not. Taking into account the factors included as fixed effects in the model, Tukey tests were performed to analyze each of them. The results of these tests showed no significant differences between the weights of the heifers at each of the ages evaluated considering, on the one hand, the levels of forage supply (high vs. low) and, on the other hand, the levels of the genetic group factor (purebred vs. crossbred). Regarding the individual effects analyzed, significant differences were detected between the levels of forage supply, with heifers from cows managed at a high forage supply being heavier than those from cows managed at a low supply (208 vs. 205 ± 5 kg). On the other hand, no significant differences were found in the average live weight of the heifers according to the genetic group of their mothers. Additionally, another mixed model was proposed with the aim of evaluating a series of statistical models that described the growth experienced by the heifers during the analysis period. This model considered the live weight of the heifers as the variable of interest and, as fixed effects, the treatment received by the mothers, the genotype of the father and the age of the heifers expressed in days. The heifer and the year of birth were included as random effects. Linear regression models (such as the first and second order models) and non-linear regression models (such as the Brody, Von Bertalanffy, Gompertz and Logistic models) were evaluated. All models showed a very high fit to the data, with adjusted r^2 values around 0.93, with practically no differences regarding this coefficient between the evaluated models. Regarding the AIC and BIC coefficients achieved by these models, it was found that, within the linear regression models, the second order model was the one that presented the lowest values of said coefficients, while, within the non-linear regression models, it was the Brody model. Therefore, within the group of linear regression models, the second-order model was the model that best fit the database, while within the group of nonlinear regression models, it was the Brody model.

Keywords: heifers, growth, genotype, herbage allowance, mathematical models

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería es una de las principales actividades que se desarrolla en Uruguay, siendo la producción de carne vacuna motivo de reconocimiento a nivel mundial. Se trata de un país agroexportador, donde el sector agropecuario explica aproximadamente el 75% de las exportaciones totales y en particular, la carne vacuna representa el 25% del total de éstas en términos monetarios (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2023).

La ganadería vacuna ocupa más del 75% de la superficie agropecuaria del país, y es llevada a cabo por unas cuarenta y cuatro mil explotaciones ganaderas puras, predominando los sistemas ganaderos familiares. De acuerdo con la orientación productiva, más de un 50% de dichas explotaciones son consideradas criadoras (DIEA, 2023), en las que se realiza la fase de cría y, generalmente, la recría de las hembras que constituirán los reemplazos.

La fase de recría incide de manera significativa sobre la eficiencia de los sistemas criadores impactando sobre su resultado productivo y económico (Lesmeister et al., 1973; Soares de Lima, 2009). En dicha fase, el factor más relevante es la edad en que la vaquillona es entorada por primera vez, lo cual depende de la edad con la que alcance la pubertad. En la medida que se reduce la edad de la vaquillona al primer servicio, disminuye el período en que las hembras de reposición permanecen improductivas dentro del sistema, y a su vez, aumenta su productividad al permanecer produciendo en el rodeo por más tiempo, destetando más quilos de terneros a lo largo de toda su vida reproductiva.

De acuerdo a lo presentado en el Anuario Estadístico del 2023 de la Oficina de Estadísticas Agropecuarias, se observa que en los últimos ocho años ha habido una disminución en el número de vaquillonas de más de dos años sin entorar, pasando de 570 a 460 mil cabezas. Sin embargo, aún existe una proporción significativa (30% del total de las vaquillonas), que se entoran con más de dos años de edad. A nivel nacional, existen productores ganaderos que, si bien son los menos, consiguen entorar sus vaquillonas a edades más tempranas, entre 15 y 18 meses.

Para lograr reducir la edad al primer servicio, es necesario que éstas experimenten buenas tasas de ganancia pre y postdestete (Viñoles et al., 2014b), y así generar un impacto positivo sobre la edad a la pubertad (Arije & Wiltbank, 1971).

Conforme aumenta el peso al destete, menores son las ganancias de peso requeridas durante la fase de recría para alcanzar el peso objetivo al entore (300-320 kg) (Viñoles, 2016). Para ello, existen diferentes alternativas, que pueden incluso implementarse de manera conjunta, tales como: aumentar el porcentaje de terneras que nacen temprano en el período de parición (Funston et al., 2012), aumentar el nivel de asignación de forraje con el que se maneja el par vaca-ternera durante la lactancia (Claramunt et al., 2018; Do Carmo et al., 2018; Espasandin et al., 2013; Gutiérrez et al., 2012), así como también la alimentación preferencial de la ternera al pie de la madre, conocida también como creep feeding (Scaglia, 2004).

Una vez que se destetan las terneras, comienza la fase de recría propiamente dicha, la cual en la mayoría de los sistemas de producción es llevada a cabo sobre campo natural. Este recurso forrajero se caracteriza por presentar variaciones estacionales tanto en cantidad como en el valor nutritivo del forraje, siendo el invierno la estación más crítica del año. En dicha estación, es común la ocurrencia de situaciones de déficit de forraje lo

que, sumado a las condiciones climáticas adversas de esta estación, determina un impacto negativo sobre la performance de los animales.

En el caso particular de los animales de recría, cuando estas categorías son manejadas exclusivamente a campo natural, durante el invierno experimentan una pérdida de peso a razón de 100-200 g/día (Echeverría et al., 2014). Como consecuencia de ello, junto con el bajo peso al destete de las terneras (140-160 kg) y las moderadas-bajas ganancias de peso durante la fase de recría (300-400 g/día), las hembras de reposición no pueden ser entoradas a edades tempranas (Morales Grosskopf & Montes Narbono, 2015; S. Scarlato, comunicación personal, 2014). Asimismo, la pérdida de peso invernal compromete la respuesta al crecimiento compensatorio que puedan manifestar estos animales en la primavera cuando mejoran las condiciones de alimentación, pudiendo afectar permanentemente el peso y tamaño adulto normal de estos animales, así como la calidad de la canal de los mismos. Existen múltiples tecnologías para combatir esta pérdida de peso entre las cuales se puede mencionar: el diferimiento de campo natural, la suplementación energético-proteica sobre campo natural, el pastoreo de mejoramientos de campo, verdeos o praderas.

En un sistema de producción dado, es crucial para quien lo maneja poder conocer y/o predecir el crecimiento que experimentarán las terneras y vaquillonas desde su nacimiento hasta el inicio de su etapa reproductiva, en función del ambiente de producción (manejo aplicado, nutrición, sanidad, genética). Este conocimiento resulta importante por varias razones, entre las que se destaca, poder tomar decisiones de manejo a tiempo para así lograr cumplir los objetivos productivos preestablecidos para esta categoría en particular.

Considerando la proporción significativa de vaquillonas que en nuestro país son entoradas luego de los dos años, existiría entonces un margen considerable para la introducción y/o profundización en la implementación de medidas de manejo que permitan maximizar el aprovechamiento del potencial de entorar las vaquillonas antes de esa edad.

En función de lo expuesto anteriormente, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la oferta de forraje con la que se manejó la madre de la vaquillona durante el pre y postparto, así como del grupo genético de dicha vaca, sobre la evolución de peso vivo de sus hijas desde el nacimiento hasta los 26 meses de edad.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el crecimiento de vaquillonas hijas de vacas puras y cruzaas manejadas a diferentes niveles de oferta de forraje en gestación y lactancia, desde el nacimiento hasta los 26 meses de edad.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar si el nivel de oferta de forraje al que fueron manejadas las madres de las vaquillonas durante el pre y postparto (alta vs baja), así como el grupo genético de éstas (puras vs cruzaas), son factores que hayan tenido un efecto significativo en el peso vivo de las vaquillonas desde el nacimiento hasta los 26 meses de edad.

Evaluar modelos estadísticos para describir el crecimiento experimentado por las vaquillonas desde el nacimiento hasta los 26 meses de edad.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 CRECIMIENTO Y DESARROLLO

La recría es una de las etapas de la vida del animal. La misma comienza con el destete y se extiende hasta el entore en el caso de las hembras o hasta el inicio del engorde en los machos. Durante esta etapa se dan dos procesos fisiológicos muy importantes, el crecimiento y el desarrollo de los animales, procesos que inciden sobre la producción animal y su eficiencia determina gran parte del proceso productivo.

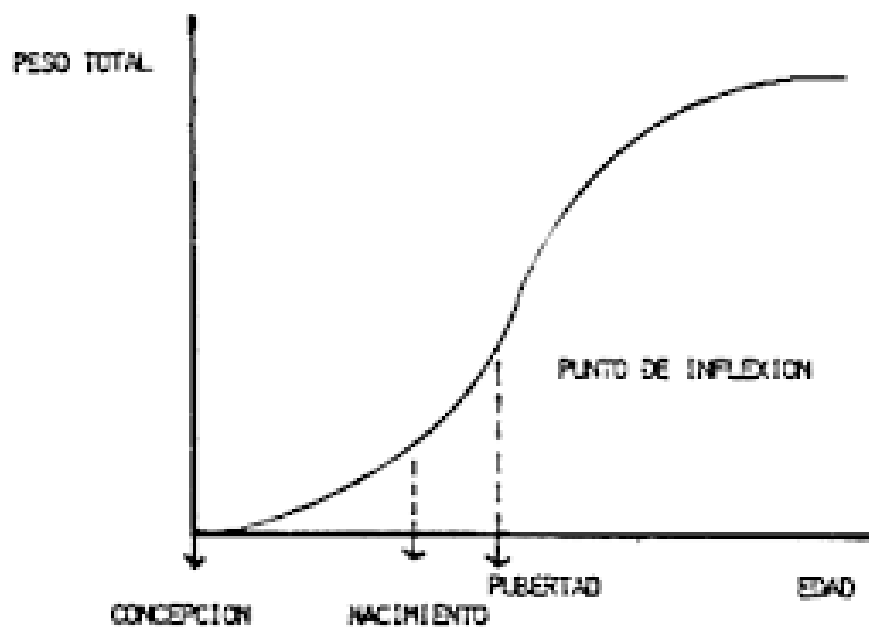
Hammond (1960) define crecimiento como el aumento de peso experimentado por los animales desde el nacimiento hasta su estabilización en la edad adulta, y desarrollo como las modificaciones que experimentan las proporciones, conformación, composición química corporal y funciones fisiológicas del animal a medida que avanza la edad. Este mismo autor menciona que el proceso de crecimiento ocurre fundamentalmente a partir de la multiplicación del número de células (hiperplasia) y aumento en el tamaño de las mismas (hipertrofia).

Una de las formas más comunes para evaluar el crecimiento es a través de la medición del peso vivo. Sin embargo, fundamentalmente en los rumiantes, a partir de esta metodología se pueden generar errores muy importantes asociados al llenado del tracto gastro-intestinal, a lo que se suma que tampoco permite conocer la composición de la ganancia de peso (Bavera et al., 2005a). Existen otras formas de expresar el crecimiento de los animales tales como: tasa de ganancia diaria de peso, crecimiento relativo o a través de medidas corporales como por ejemplo, la altura al anca.

Según Lawrence y Fowler (2002), la curva de crecimiento de los animales se ajusta a una curva sigmoide, en la que, conforme avanza la edad, se produce un aumento en el peso, asociado a la acumulación de tejidos, hasta alcanzar el peso adulto o maduro, distinguiéndose tres fases: fase de crecimiento lineal, fase de auto-aceleración y fase de auto-inhibición. Durante la primera etapa, que abarca desde la concepción hasta el nacimiento, indican que hay un incremento lineal del peso del ternero en relación a su edad, siendo éste más importante en el último tercio de gestación. Posteriormente, desde el nacimiento y hasta la pubertad (fase de auto-aceleración), señalan que se genera un aumento significativo en el peso, debido a que en esta etapa se producen altas tasas de ganancia por unidad de tiempo (alto potencial de crecimiento), las cuales se hacen máximas en torno a la pubertad para luego inmediatamente a ésta comenzar a descender (punto de inflexión) (Figura 2). En la tercera etapa (a partir de la pubertad), como indican estos autores, el incremento de peso se produce a tasas decrecientes hasta alcanzar el peso maduro, de manera que, conforme avanza el tiempo, el incremento de peso del animal en relación a su propio peso (crecimiento relativo) va disminuyendo.

Figura 1

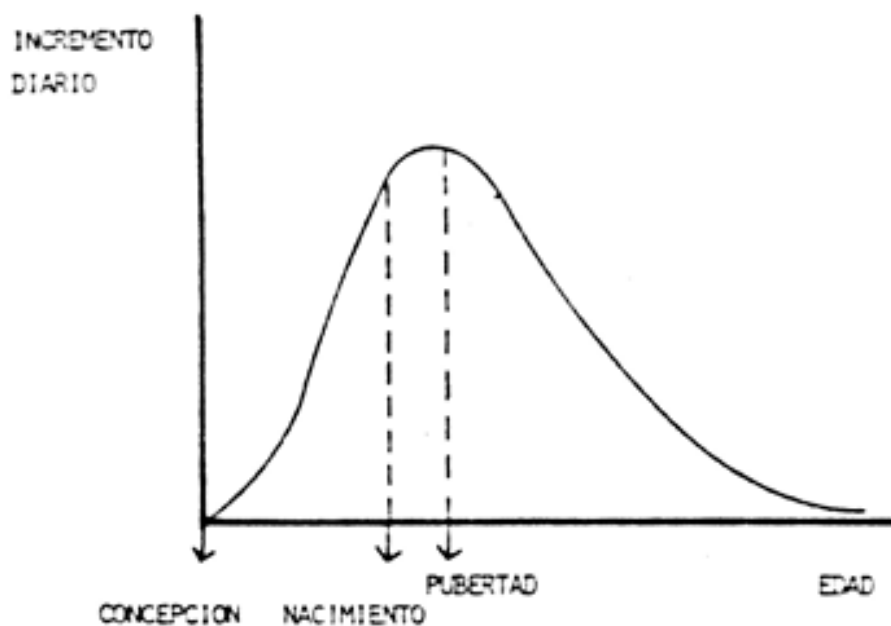
Evolución de peso vivo en función de la edad del animal



Nota. Tomado de Bavera et al. (2005a).

Figura 2

Tasa de ganancia diaria de peso en función de la edad del animal



Nota. Tomado de Bavera et al. (2005a).

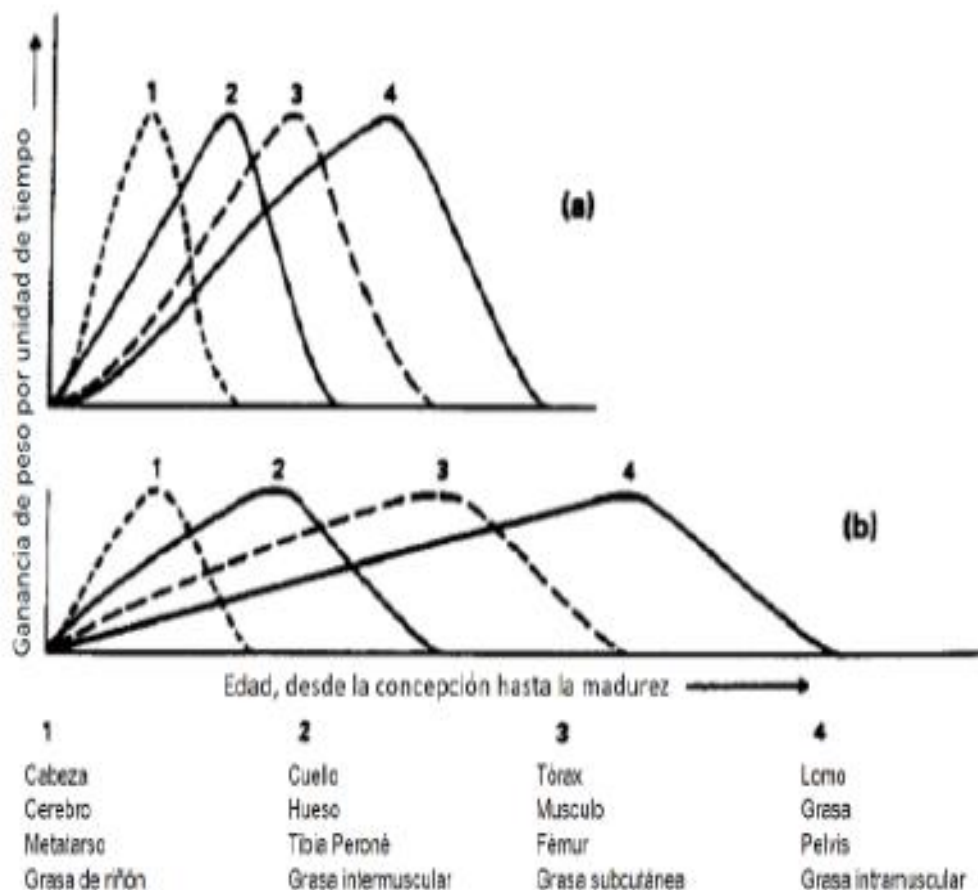
3.1.1 Crecimiento diferencial de los tejidos

En la medida que la energía consumida por el animal es retenida en forma de proteínas y grasas, se produce la acumulación de tejido proteico y adiposo. Sin embargo, la variación de peso responde al balance entre la síntesis y la degradación que ocurren a nivel tisular. Conforme la tasa de síntesis de proteínas y grasas exceda sus respectivas degradaciones se producirá una ganancia de peso, de suceder lo contrario habrá movilización de tejidos y por ende pérdida de peso. Como la síntesis y degradación a nivel tisular ocurren de manera simultánea, además de generar un cambio en el peso de los animales también afectan la composición corporal de los mismos. Dicho balance depende de la disponibilidad de energía, edad del animal, peso y de cada tejido en particular (Di Marco, 2004).

A medida que avanza la edad del animal y se producen los fenómenos de crecimiento y desarrollo, sus proporciones se modifican, así como su composición corporal. Esto se debe a que los diferentes órganos, tejidos y partes anatómicas de un organismo no crecen a igual intensidad y ritmo, sino que conforme avanza la edad del animal cada uno va adquiriendo una determinada velocidad de crecimiento (crecimiento diferencial). Asimismo, los órganos y tejidos tampoco maduran simultáneamente (Figura 3) (Owens et al., 1993). Acorde a esto, los nutrientes absorbidos son distribuidos siguiendo el siguiente orden de prioridades: tejido nervioso, tejido óseo, tejido muscular y tejido adiposo. En caso de que el animal sufra alguna restricción alimenticia tanto el impacto sobre el desarrollo de dichos tejidos como la movilización de nutrientes se darían en sentido inverso (Bavera et al., 2005a).

Figura 3

Tasas de crecimiento de varios tejidos y partes del animal según su precocidad



Nota. (a) animal precoz, (b) animal menos precoz. Adaptado Owens et al. (1993).

Los animales se desarrollan siguiendo un patrón preestablecido conocido como ondas de crecimiento. La primera onda comienza en la cabeza del animal y se extiende hacia la parte posterior del mismo (craneal-caudal), generando el crecimiento de la cabeza, cuello, tórax, lomo y cadera del animal. La segunda onda se inicia en la parte media de las cañas y se divide en dos ramas: una de ellas se dirige hacia la extremidad de cada miembro generando el tamaño definitivo de los mismos, mientras que la otra se orienta hacia arriba, a lo largo de las diversas regiones de los miembros, originando el crecimiento en alto. Al remontarse estas ondas por los miembros, llegan al cuerpo y se orientan hacia la región del lomo. Por último, existe una tercera onda la cual se da en sentido descendente (dorso-ventral), que una vez que disminuye la acción de las dos ondas anteriores, es la encargada del desarrollo longitudinal de las costillas (Lawrence & Fowler, 2002).

Las vísceras alcanzan a edades tempranas del animal su máximo peso relativo para posteriormente continuar creciendo a bajas tasas. El tejido óseo crece a bajas tasas de crecimiento conforme avanza la edad del animal. En el caso del tejido muscular, éste

crece a tasas decrecientes hasta alcanzar un plateau mientras que el tejido adiposo crece de manera exponencial en la medida que aumenta el peso. Por lo tanto, a medida que el animal envejece, disminuye la proporción de hueso y músculo y hay un incremento en la proporción de grasa. Sin embargo, en términos absolutos, un animal maduro presenta mayor cantidad de músculo que de grasa (Bavera et al., 2005a; Di Marco, 2004).

Según Bavera et al. (2005a), otro aspecto fundamental que influye sobre la rapidez de desarrollo de las diferentes regiones y tejidos del cuerpo es la precocidad. La misma hace referencia a la velocidad con la que ocurre el desarrollo del animal. Existe una relación inversa entre la precocidad y el tamaño adulto, de forma que si bien a medida que aumenta el tamaño adulto se incrementa la tasa de ganancia diaria, la precocidad es menor. Un animal precoz en relación a uno menos precoz, tanto a igual edad como a igual peso, se encuentra con un grado de madurez mayor ya que los procesos de desarrollo ocurren de forma más rápida, logrando alcanzar antes la madurez (Figura 3).

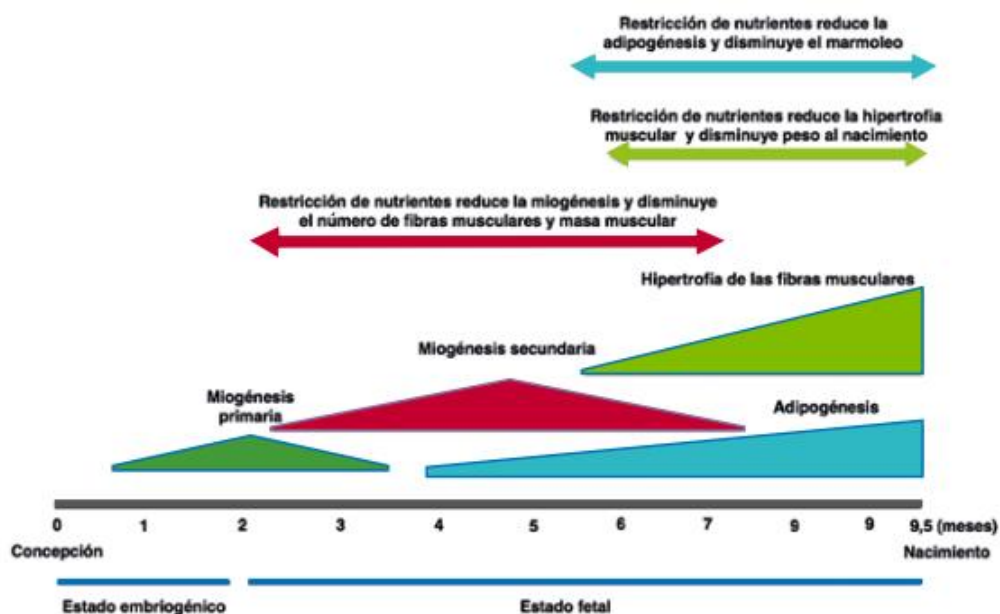
3.1.2 Factores que afectan el crecimiento prenatal: programación fetal

Según Godfrey (2002) la programación del desarrollo describe el fenómeno por el cual un estímulo o efecto adverso durante un período crítico tiene consecuencias permanentes, dando lugar a cambios estructurales, fisiológicos y metabólicos que afectan el desarrollo y la producción. A medida que el feto crece y se desarrolla es susceptible a los cambios en el entorno interno o externo, así como a cualquier predisposición genética. De acuerdo con McCarty y Long (2019), el crecimiento y desarrollo fetal es un componente importante en lo que respecta a la producción de carne vacuna debido a que incide sobre múltiples aspectos tales como: crecimiento y desarrollo postnatal (tasa de crecimiento, eficiencia alimenticia, ganancia media diaria), calidad de carne (terneza, marmoreo), composición de la carcasa, aspectos reproductivos, etc.

El impacto que pueda tener la restricción nutricional durante la gestación en el desempeño futuro de los terneros dependerá tanto del momento como de la intensidad de dicha restricción. De acuerdo con Du et al. (2010), durante los primeros tres meses de gestación ocurre la miogénesis primaria, y entre el segundo y el octavo mes de gestación se produce un segundo evento de miogénesis, denominado miogénesis secundaria (Figura 4). Según estos mismos autores, durante miogénesis primaria, se forma un reducido número de fibras musculares, mientras que en el segundo evento se forman la mayoría de las fibras musculares, lo que establece en gran medida el potencial de crecimiento postnatal. En este contexto, los mismos autores señalan que si la vaca experimenta una restricción nutricional durante este período, se puede producir una reducción tanto en el número de fibras musculares como en la masa muscular del ternero, lo que afectaría su desempeño productivo por el resto de su vida. Esto último lo asocian con el hecho de que el número de fibras musculares quedó definido al momento del nacimiento. A partir del cuarto mes de gestación, comienza el proceso de adipogénesis (Figura 4), definiéndose el número de adipocitos que posteriormente determinarán el nivel de marmoreo de la carne, proceso que es afectado por la nutrición (Maresca et al., 2014).

Figura 4

Efecto de la nutrición materna sobre el desarrollo del tejido muscular y adiposo del ternero



Nota. Efecto de la nutrición materna durante la gestación sobre en el desarrollo del músculo esquelético y del tejido adiposo fetal bovino. Adaptado de Du et al. (2010).

Terneros hijos de vacas que sufrieron una restricción nutricional durante la gestación reducen su crecimiento y desarrollo fetal y por lo tanto nacen con un menor peso (Maresca et al., 2014). Según Bavera et al. (2005a), el impacto más importante que puede ocasionar la desnutrición materna sobre el tamaño del feto se produce cuando ésta ocurre de manera prolongada en el último tercio de gestación, momento en el cual ocurre un aumento significativo del crecimiento del feto (2/3 del crecimiento total), asociado al aumento en el tamaño de las fibras musculares (hipertrofia). La reducción en el peso al nacimiento es más pronunciada en terneros hijos de vaquillonas que de vacas adultas, debido a que los nutrientes consumidos por las vaquillonas además de ser destinados para satisfacer los requerimientos de mantenimiento y gestación, también lo son para cubrir los requerimientos asociados a su propio crecimiento (Greenwood & Cafe, 2007).

Asimismo, el impacto que pueda ocasionar una restricción nutricional durante la gestación sobre el peso al nacer de los terneros depende de que si lo que se está restringiendo es el consumo de energía o el de proteína. Diversos autores han demostrado que cuando se restringe el consumo de energía durante la gestación tardía disminuye el peso al nacer, tanto en vacas (Corah et al., 1975; Freetly et al., 2000; Houghton et al., 1990; Wiltbank et al., 1962) como en vaquillonas (Bellows & Short, 1978; Corah et al., 1975; Spitzer et al., 1995; Warrington et al., 1988). Sin embargo, cuando las madres fueron alimentadas con una dieta deficiente en proteínas y adecuada en energía durante la segunda mitad de la gestación, el peso al nacer no se vio afectado. Estos resultados son consistentes para vacas (Larson et al., 2009; Stalker et al., 2006) y vaquillonas (Carstens et al., 1987; Martin et al., 2007). Por lo tanto, el efecto de una restricción nutricional sobre

el peso al nacer de los terneros parece ser más severo cuando se restringe la ingesta de energía (LeMaster et al., 2016).

En el caso de las hembras, la nutrición fetal juega un papel fundamental en su desempeño reproductivo. El desarrollo de los órganos reproductivos ocurre fundamentalmente en el primer tercio de gestación y según Nilsson y Skinner (2009), a partir del día 80 de gestación comienzan a formarse los folículos primarios, los cuales constituirán la reserva ovárica de folículos para el resto de la vida reproductiva de dicho vientre.

3.1.2.1 Efecto de la suplementación a la vaca durante la gestación sobre el desempeño productivo y reproductivo de su descendencia

En un estudio realizado por Maresca et al. (2019), cuyo objetivo fue determinar el efecto de la cantidad de proteína suministrada a las vacas durante la gestación tardía sobre el crecimiento postnatal y la concentración de metabolitos y hormonas metabólicas, se utilizaron vacas de la raza Angus, suministrándole a un grupo una dieta baja en proteína (6% PC) y al otro una dieta alta en proteína (12%), donde la energía no era limitante. Se encontró que terneros hijos de vacas suplementadas con alto nivel de proteína, tuvieron un peso ligeramente superior al nacimiento en comparación con terneros hijos del otro grupo de vacas, pero el tratamiento nutricional no influyó en el peso al destete y tampoco en el peso ajustado a los 205 días. Por lo tanto, se concluyó que la tasa de ganancia diaria de peso desde el nacimiento hasta el destete no fue afectada por la suplementación con proteína durante la gestación tardía de la vaca.

En investigaciones realizadas por Martin et al. (2007), no se observaron diferencias en ganancia diaria de peso en vaquillonas hijas de vacas suplementadas con proteína durante la gestación tardía. Por otro lado, estos mismos autores, informaron una tasa general de preñez del 93% vs 80% para las vaquillonas suplementadas y no suplementadas con proteína, respectivamente. A su vez, encontraron que el porcentaje de vaquillonas que parieron en los primeros 21 días de la temporada de parto fue mayor en vaquillonas hijas de madres suplementadas con proteína en comparación con las no suplementadas, siendo estos resultados similares a los reportados por Cushman et al. (2014).

En trabajos realizados como los de Warner et al. (2011), Funston et al. (2010) y Cushman et al. (2014), no se observaron diferencias en el porcentaje de preñez de las hijas de madres suplementadas con proteína e hijas de madres suplementadas con bajo nivel de proteína durante el último tercio de gestación.

Autores como Funston et al. (2010), encontraron que la desnutrición durante la gestación afecta la edad a la pubertad. Sin embargo, estos resultados no concuerdan con Nepomuceno et al. (2017) y Martin et al. (2007).

López Valiente et al. (2019), realizaron un ensayo en el que se estudió el efecto de la suplementación proteica en vacas durante la gestación media y tardía sobre la ganancia de peso y la reproducción de la descendencia femenina, entre otros aspectos. Encontraron que el nivel de proteína preparto de la madre no afectó de manera importante el peso vivo de las vaquillonas, pero las hijas de vacas que fueron suplementadas con alta proteína tuvieron una mayor ganancia de peso que las vaquillonas hijas de madres suplementadas con baja proteína, 0,45 y 0,35 kg/día respectivamente. La nutrición proteica durante el preparto no afectó la edad a la pubertad ni la preñez al finalizar el servicio (rendimiento reproductivo), pero las vaquillonas hijas de vacas suplementadas con bajo nivel de proteína

fueron 30,8 kg más livianas a la pubertad respecto a las hijas de vacas suplementadas con alto nivel de proteína.

En relación al efecto sobre la descendencia de la suplementación energética durante la gestación, resultados obtenidos por Jennings et al. (2016) evidencian que el peso vivo de la cría al parto no fue afectado por los tratamientos de suplementación con 72% y 142% de los requerimientos de energía, aplicados durante el segundo tercio de gestación. En cambio, resultados obtenidos por Corah et al. (1975) y por Wiltbank y Remmenga (1982), indican que vacas y vaquillonas alimentadas con niveles de energía de 50 a 60% de los requerimientos energéticos tuvieron pérdidas de peso y mala condición corporal al parto, y sus terneros fueron más livianos al nacimiento respecto a hijos de vacas y vaquillonas alimentadas con niveles de energía de 100 a 120% de los requerimientos.

En lo que respecta al efecto sobre el peso vivo y edad a la pubertad de la suplementación con energía a vacas durante la gestación, Cushman et al. (2014) no observaron influencias sobre estos parámetros entre hijas de vacas suplementadas con una dieta alta en energía e hijas de vacas alimentadas con una dieta baja en energía.

En un experimento realizado por Batista et al. (2019) en la Unidad Experimental Palo a Pique de INIA se evaluó el efecto de diferentes planos nutricionales durante el último tercio de gestación, sobre características morfométricas y edad a la pubertad de las terneras nacidas, entre otros aspectos. Se utilizaron dos grupos de vacas multíparas, cruce Aberdeen Angus x Hereford, uno fue alimentado al 125% de los requerimientos energéticos de mantenimiento (plano alto) y el otro al 75% (plano bajo). Los niveles de energía consumida por las vacas en el último tercio de gestación no afectaron el peso vivo al nacimiento ni tampoco las variables morfométricas, aunque respecto al valor observado de altura, las terneras del tratamiento de plano alto fueron más altas que las de plano bajo (72 vs 70,2 cm) pero al corregir las medidas por el peso vivo de las terneras al nacimiento esta diferencia desaparece. Si bien las terneras hijas de vacas sometidas al plano nutricional alto presentaron una leve superioridad en la ganancia diaria al destete en relación a las terneras hijas de vacas sometidas al plano bajo (0,9 vs 0,84 kg/día), el peso al destete entre estas terneras no difirió significativamente. Esto último puede estar explicado porque no hubo diferencias en producción de leche entre las vacas suplementadas con un plano alto y las suplementadas con un plano bajo. A su vez, la totalidad de las terneras entraron en pubertad, no habiendo diferencias en la edad y peso vivo entre los tratamientos. Estos autores consideran que, teniendo en cuenta que en el último tercio de gestación se produce un crecimiento exponencial del feto, los niveles nutricionales bajos no fueron lo suficientemente restrictivos como para provocar una disminución en el peso vivo al nacer de las terneras.

3.1.3 Factores que afectan el crecimiento durante la lactancia

El crecimiento entre el nacimiento y el destete del ternero está determinado por muchos factores, entre los que se destacan el potencial genético del ternero, la producción de leche de la madre y el nivel de asignación de forraje al cual se maneja el par vaca-ternero.

Según Rovira (2008), aproximadamente un 50% de la variación en el peso al destete puede ser atribuido a diferencias en el consumo de leche por parte de los terneros. A pesar de que el peso al destete de los terneros está relacionado con la producción de leche de la madre, la incidencia de la producción de leche sobre la performance del ternero

varía a lo largo de la lactancia. En etapas tempranas, fundamentalmente durante los tres primeros meses de edad, existe una estrecha relación entre la ganancia de peso del ternero y el consumo de leche. Conforme avanza la lactancia esta relación va disminuyendo, y la ganancia de peso pasa a depender más del valor nutritivo y de la cantidad de forraje que ingiera el ternero (Rovira, 2008). Esto último sucede no porque el ternero no requiera mayor cantidad de leche en la medida que crece, sino que la vaca de cría una vez que alcanzó el pico de producción de leche (aproximadamente al día 90 de lactancia), comienza a producir cada vez menos leche por lo tanto los requerimientos del ternero no logran ser cubiertos por la leche materna y el ternero a partir del consumo de forraje intentará cubrirlos (Bavera, 2005).

Uno de los principales factores que inciden sobre la producción de leche es la nutrición de la vaca. Según Rovira (2008), en razas carniceras, el nivel alimenticio postparto tiene mayor incidencia en el volumen producido de leche que el del preparto. Sin embargo, esto no significa que el estado de la vaca al parto no influya para nada sobre la producción de leche. Según Cantet (1983, como se cita en Rovira, 2008), cuando se dan situaciones de sub-nutrición, la vaca moviliza sus reservas corporales para cubrir sus requerimientos, afectándose en mayor magnitud la performance reproductiva que la producción de leche. Esto se debe a que la vaca prioriza la producción de leche ante el reinicio de su ciclicidad ovárica. De todas formas, bajo condiciones limitantes de nutrición, disminuye sensiblemente la producción de leche y por ende el consumo de leche del ternero afectándose la ganancia de peso del mismo.

Terneros recién nacidos son considerados como no-rumiantes debido a la falta de desarrollo de los pre-estómagos (retículo rumen) en lo que respecta a sus dimensiones, población microbiana, desarrollo de las papilas retículo-ruminales, entre otros. Los terneros a partir de la tercera semana de edad comienzan a incorporar alimento sólido a su dieta y alrededor de los 2 meses el retículo-rumen tiene las características y proporciones básicas de su forma adulta, pudiendo entonces ser considerados como rumiantes (Van Lier & Regueiro, 2008). A medida que avanzan los días de lactancia y los requerimientos del ternero cada vez son menos satisfechos por la leche materna, tanto la disponibilidad como la calidad del forraje comienzan a afectar de manera directa al ternero, incidiendo en su peso al destete. En diversos trabajos se encontró que en la medida que se aumenta el nivel de oferta de forraje con el que se maneja el par vaca-ternero (como por ejemplo de 3 a 5 kg MS/kg PV), el peso de los terneros al destete se incrementa (Claramunt et al., 2018; Do Carmo et al., 2018; Espasandín et al., 2013; Gutiérrez et al., 2012), aspecto que se detallará en mayor profundidad en la sección 3.4.1 del presente trabajo. Esto se debería a que aumenta la producción de leche y aumenta el consumo de forraje de los terneros (Willham, 1972).

Además de los factores ya mencionados, la categoría de la madre (primíparas vs multíparas) y el grupo genético de la misma (puro vs cruce), son factores que también inciden sobre el crecimiento de los terneros desde el nacimiento hasta el destete.

Briano et al. (2013) realizaron un trabajo en el que se evaluó el efecto de dos asignaciones de forraje de campo natural durante el preparto, sobre variables productivas y reproductivas de vacas multíparas y primíparas. Se utilizaron vacas puras de la raza Hereford y vacas cruce Aberdeen Angus x Hereford. A un grupo se les asignó 15 kg MS/100 kg PV (alta asignación) y al otro grupo 5 kg MS/100 kg PV (baja asignación). El manejo diferencial comenzó aproximadamente a los 42 días pre parto y finalizó al parto. Posterior al parto, las vacas fueron manejadas como un solo grupo y pastoreaban campo natural a

razón de 12 kg MS/100 kg PV. Se evaluó el peso vivo de los terneros desde el nacimiento hasta el destete, considerando tres períodos: período 1 (desde el nacimiento al día 56 de lactancia), período 2 (desde el día 56 al 112 de lactancia) y período 3 (desde el día 112 de lactancia hasta el destete). La producción de leche fue afectada por la asignación de forraje, de forma que las vacas en alta asignación de forraje tuvieron una mayor producción de leche promedio que las vacas en baja asignación (5,4 vs 4,6 kg/día). Asimismo, las vacas multíparas tuvieron una mayor producción de leche promedio que las primíparas (5,6 vs 4,5 kg/día). El peso vivo al nacimiento fue superior para los terneros hijos de vacas multíparas respecto a los de vacas primíparas (34,3 vs 30,1 kg), y el peso al nacer no fue afectado por la asignación de forraje (32,2 kg). Durante el período 1, la tasa de ganancia diaria de los terneros hijos de vacas manejadas en alta oferta fue mayor (0,88 vs 0,82 kg/día). A su vez, para el mismo período, terneros hijos de vacas multíparas tuvieron mayor ganancia de peso respecto a los nacidos de vacas primíparas (0,90 vs 0,80 kg/día). En los períodos 2 y 3, esta diferencia solo se mantuvo entre los terneros hijos de vacas multíparas y primíparas (0,66 vs 0,57 kg/día), generando pesos al destete superiores de los terneros hijos de vacas multíparas en relación a los hijos de vacas primíparas (155 vs 142 kg). El peso al destete no difirió entre asignaciones de forraje (148,9 kg).

En un trabajo realizado por Espasandín et al. (2013), en el que se evaluó durante dos años los kilogramos de ternero destetado por vaca entorada por año, en vacas multíparas puras (Hereford y Angus) y cruza (F1) en pastoreo de campo natural utilizando dos ofertas de forraje: alta vs baja (10 y 6 kg MS/100 kg PV promedio anual respectivamente). Se encontró que a pesar de no haber existido diferencias significativas en el peso al nacimiento de los terneros según el grupo genético de la madre, para un mismo nivel de oferta de forraje, las vacas cruce destetaron terneros que fueron en promedio 12 kg más pesados al destete (112 ± 19 días) que los hijos de vacas puras (124 ± 3 vs 112 ± 3 kg).

3.1.4 Factores que afectan el crecimiento post-destete

En términos generales, el potencial de crecimiento de un animal, y en consecuencia la tasa de ganancia diaria de peso, están afectados por factores inherentes al animal (por ejemplo: genotipo y sexo), y por factores externos tales como la nutrición (Bavera et al., 2005a; Di Marco, 1998). Estos factores inciden directamente sobre la composición de la ganancia, es decir, sobre la relación músculo/grasa, determinando así el costo energético requerido por la ganancia de peso (A. Simeone, comunicación personal, 2021).

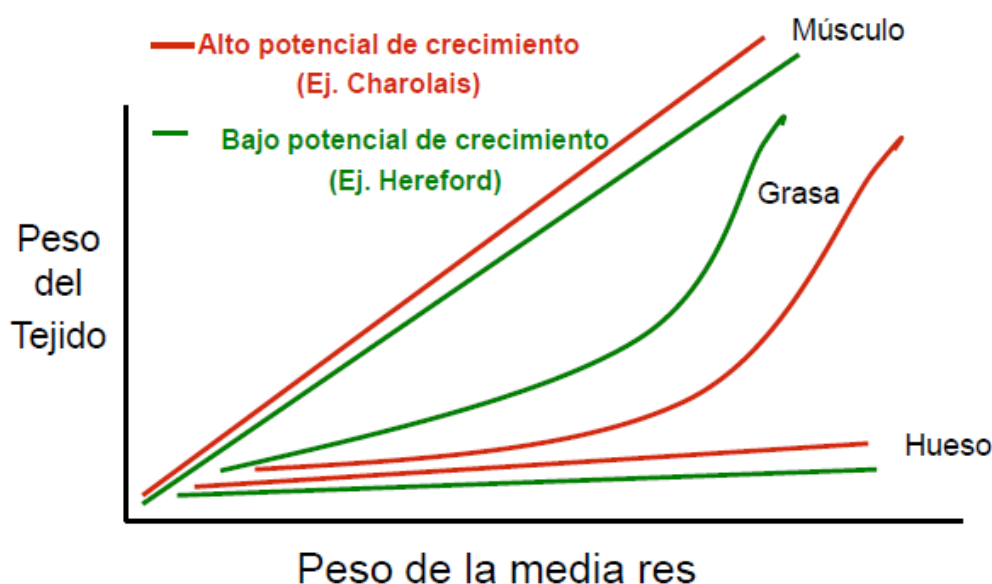
Partiendo de la base de que la deposición de un determinado compuesto responde al balance entre síntesis y degradación, y para que ocurra deposición la síntesis debe superar a la degradación, las proteínas y los lípidos presentan similares requerimientos para su deposición, 12,6 y 12,8 Mcal/kg respectivamente. No obstante, estos compuestos difieren significativamente en la cantidad de energía que necesitan para su síntesis y degradación. En términos de síntesis, las proteínas requieren casi la mitad de energía que la que requieren los lípidos (5,6 vs 9,4 Mcal/kg) mientras que, en lo que respecta a la degradación, las proteínas requieren casi el doble de energía que los lípidos (7,0 vs 3,4 Mcal/kg), asociado al costo del proceso de turnover proteico, proceso que ocurre continuamente en el animal. El tejido muscular está compuesto por 75% agua, 20% proteína y 5% de lípidos mientras que el tejido adiposo contiene 15% de agua, 0% de proteína y 85% de lípidos. A pesar de que los lípidos y las proteínas presentan similares requerimientos para su deposición (12,7 Mcal/kg), debido a la composición de los tejidos,

se requiere aproximadamente 3 veces más energía para depositar 1 kg de tejido adiposo que de tejido muscular (H. Petrocelli & J. Franco, comunicación personal, 2019).

En relación al genotipo, las razas se pueden clasificar en cuanto a su tamaño adulto en chico, mediano o grande (Di Marco, 1998). Conforme avanza la edad y aumenta el peso vivo de los animales, aumentan los requerimientos para ganancia de peso. Sin embargo, la magnitud con la que incrementan los requerimientos varía según el tamaño adulto del animal: a igual peso, animales de frame chico (por ejemplo, razas británicas como Hereford y Angus), presentan mayores requerimientos por quilogramo de peso vivo ganado que animales de frame mediano y grande, ya que la grasa tiene un peso relativo mayor que la proteína en la composición de la ganancia, por lo que la energía requerida aumenta debido al mayor costo energético que conlleva la deposición de tejido adiposo. En cambio, animales de alto potencial de crecimiento (razas continentales tales como Charolais, Chianina), los requerimientos de energía por unidad de ganancia son menores, asociado a que son animales más jóvenes a un mismo peso y en consecuencia depositan más proteína que grasa cuando aumentan de peso (Figura 5) (Di Marco, 2004).

Figura 5

Composición de la media res según potencial de crecimiento



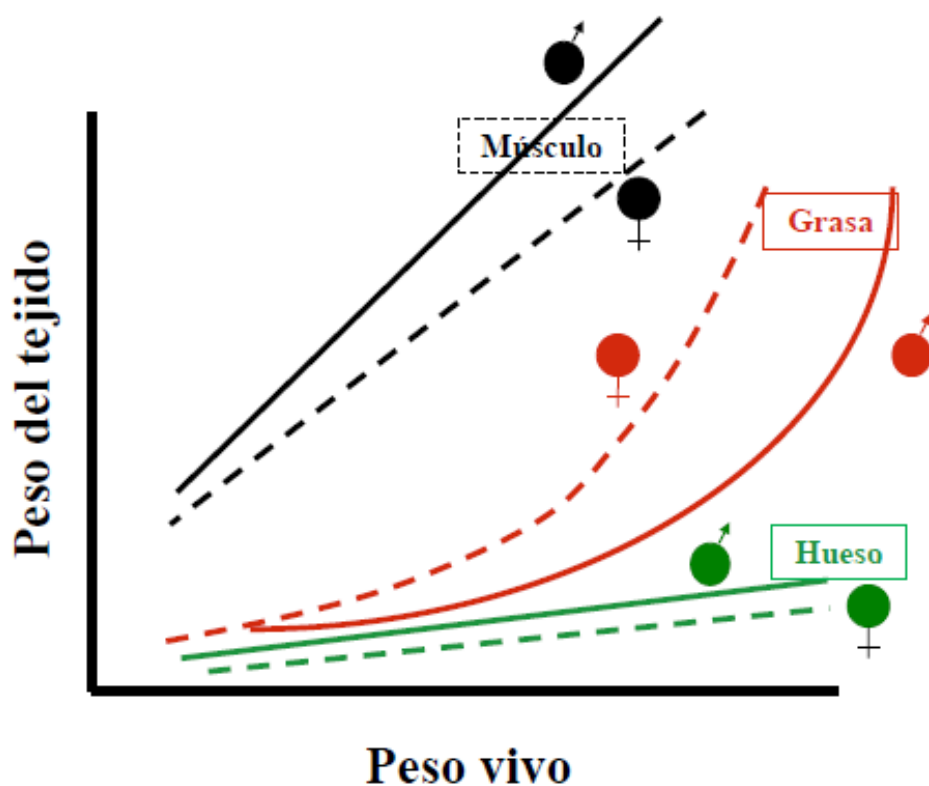
Nota. Tomado de H. Petrocelli y J. Franco (comunicación personal, 2019).

Según Di Marco (1998) el peso, así como también las proporciones de músculo, grasa y hueso en la res, están fuertemente influenciados por el sexo del animal. Los machos enteros tienden a tener más musculatura, mayor relación músculo/hueso y menor contenido de grasa que los novillos. En el caso de las hembras bovinas, estas tienen menos músculo, más grasa y similar relación músculo/hueso que los novillos (Figura 6). A igual peso vivo y/o misma situación de alimentación, una hembra presenta mayores requerimientos de ganancia de peso que un novillo y que un toro. Esto se debe a que la hembra acumula

mayor proporción de grasa mientras que un macho entero deposita mayor proporción de tejido muscular. El novillo presenta requerimientos intermedios entre la hembra y el macho entero (Di Marco, 1998).

Figura 6

Efecto del sexo sobre el peso relativo de los tejidos

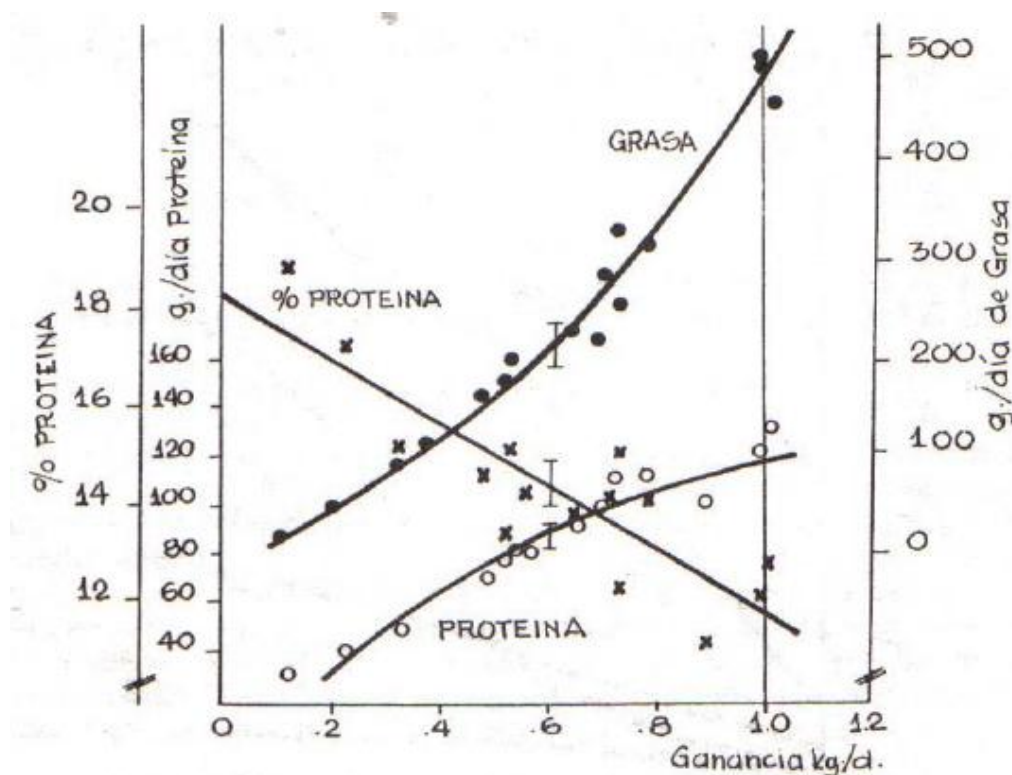


Nota. Tomado de H. Petrocelli y J. Franco (comunicación personal, 2019).

En lo que respecta al plano nutricional, cuando se dan situaciones restrictivas en cuanto al aporte de nutrientes, las ganancias de peso son bajas, predominando la deposición de tejido muscular. Conforme se mejora el plano nutricional, aumenta la deposición de tejido muscular y tejido adiposo, pero llega un punto en el que cesa la retención proteica por lo que todo el excedente de energía va a ser depositado en forma de tejido adiposo, disminuyendo la relación músculo/grasa respecto a la composición de la ganancia (Figura 7) (Di Marco, 1998). Por lo tanto, cuando se dan condiciones de elevadas ganancias de peso, el animal por unidad de ganancia cada vez va a requerir más energía debido a que lo que se está depositando es fundamentalmente tejido adiposo (A. Simeone, comunicación personal, 2021).

Figura 7

Composición de la ganancia de peso en función de la tasa de ganancia diaria



Nota. Adaptado de Byers (1982, como se cita en Baeck, 2000).

3.1.5 Crecimiento compensatorio

Cuando los animales sufren una restricción alimenticia resienten su tasa de crecimiento pudiéndose afectar de manera permanente su peso y conformación final. Cuando dicha restricción ocurre dentro de ciertos límites y en momentos particulares de sus vidas, una vez que se dan las condiciones adecuadas de nutrición (período de realimentación), animales de la misma raza y edad, tienen la capacidad de crecer a tasas superiores en relación a animales que no sufrieron ninguna restricción y son alimentados con el mismo régimen alimenticio (Owens et al., 1993).

Después de la restricción nutricional, una vez que los animales son sometidos a un plano de realimentación, pueden presentar diferentes respuestas: compensación completa, compensación parcial y sin compensación (Hornick et al., 2000). La compensación completa, ocurre cuando el animal alcanza el mismo peso para la edad que aquellos que no sufrieron ninguna restricción. En el caso de la compensación parcial, a pesar de que se produce un incremento en la tasa de ganancia de peso durante la realimentación, los animales no son capaces de alcanzar el mismo peso que los animales no restringidos. Por último, existe la posibilidad de que no ocurra compensación, animales que son realimentados no incrementan su tasa de ganancia de peso de manera significativa.

por lo que no alcanzan nunca el peso de animales que no sufrieron restricción alimenticia (Olazabal & San Martín, 2008).

El crecimiento compensatorio es un proceso fisiológico por el cual un organismo acelera su tasa de crecimiento después de un periodo de desarrollo restringido, usualmente debido a la reducción del consumo de alimento (Hornick et al., 2000). La restricción puede estar explicada por una reducción en la cantidad de alimento o por un bajo aporte de nutrientes asociado a la alimentación con dietas de bajo contenido de nutrientes (Drouillard et al., 1991).

Los principales mecanismos a través de los cuales se da la respuesta compensatoria están vinculados a la reducción de los requerimientos de mantenimiento, el aumento del apetito, la capacidad de consumo y la mayor eficiencia durante el periodo de realimentación (Olazabal & San Martín, 2008). Durante la restricción nutricional, a corto plazo se reducen los requerimientos de actividad y por ende los requerimientos de mantenimiento. Conforme se mantenga la restricción, los tejidos metabólicamente activos como el hígado y el tracto digestivo reducen su tamaño y actividad metabólica debido a una menor cantidad de energía y proteína disponible asociados al menor consumo de nutrientes, resultando en una hipotrofia de las células, disminución de la masa del órgano y de los requerimientos para mantener su función (Olazabal & San Martín, 2008). Por lo tanto, durante el periodo de restricción se produce una reducción en los requerimientos de mantenimiento de los animales, de manera que animales que sufrieron dicha restricción, cuando comienza el periodo de realimentación tienen menores requerimientos de mantenimiento en relación a animales que no sufrieron ninguna restricción. Esto conlleva a que los animales que pasaron por una restricción alimenticia destinen una menor proporción de la energía consumida a mantenimiento y una mayor proporción a producción (aumento de peso), lo que explica las mayores tasas de crecimiento que experimentan estos animales durante el periodo de realimentación (Ryan et al., 1993).

A su vez, animales que han sido restringidos tienen un mayor peso relativo del aparato digestivo (retículo-rumen) en relación a su peso corporal (Bavera et al., 2005b), sobre todo aquellos que fueron alimentados en base a forrajes de baja calidad, permitiendo que estos animales alcancen un mayor potencial de consumo durante el periodo de realimentación (Kamalzadeh et al., 1997). Asimismo, durante el periodo de restricción alimenticia se produce una reducción en la deposición de tejido adiposo, originando un aumento del espacio de la cavidad abdominal, con reducción de la presión sobre el tracto digestivo, aumentando así la capacidad de recepción del alimento en el rumen (Olazabal & San Martín, 2008). A su vez, según Lawrence y Fowler (2002), cuando el hígado y el tracto digestivo se restablecen durante la fase de compensación, se incrementa la síntesis de proteína, lo que genera un aumento en la demanda de energía originándose así una retroalimentación positiva que promueve el consumo de alimento.

Durante la restricción alimenticia se produce movilización de tejido adiposo y eventualmente, asociado a bajas tasas de ganancia, deposición de tejido muscular, dando lugar a animales con alta relación músculo/grasa. Asimismo, durante la fase de compensación se produce un incremento significativo en la deposición de tejido muscular, por lo que aumenta la eficiencia en lo que respecta a la ganancia de peso, asociado a que se está depositando un tejido de menor costo energético. De todas formas, los animales al final del periodo de realimentación, debido a los elevados consumos, comienzan a depositar tejido adiposo (Olazabal & San Martín, 2008).

Existen múltiples factores que gobiernan el crecimiento compensatorio incidiendo sobre la respuesta del mismo, tales como edad, genotipo, intensidad y duración de la restricción, naturaleza de la restricción alimenticia y calidad de la dieta durante la fase de compensación. Según Bavera et al. (2005b), la restricción alimenticia en etapas tempranas de crecimiento es la más severa, pudiendo ocasionar daños irreversibles de manera que en la fase de realimentación el animal no logrará alcanzar el peso y desarrollo adulto normal, debido a que no se producirá la compensación completa. Existen numerosos trabajos que demuestran que cuando la restricción ocurre a edades muy tempranas del animal, la respuesta al crecimiento compensatorio es nula o pobre (Hornick et al., 2000; Morgan, 1972; Tudor & O'Rourke, 1980). Asimismo, según A. Simeone (comunicación personal, 2021) la restricción alimenticia va a estar afectando la composición corporal de los animales según la edad en la que haya sucedido. En este sentido, cuanto más temprano ocurra en la vida del animal menor será la relación músculo/grasa de la carcasa, debido a que con la restricción nutricional se afectó fundamentalmente la deposición de tejido muscular. En cambio, si la restricción alimenticia ocurre a edades más avanzadas del animal, se va a afectar la deposición de tejido adiposo.

En relación al genotipo, Olazabal y San Martín (2008) indican que animales precoces, o sea de maduración temprana, a igual edad que otro de maduración tardía, como presentan mayor peso relativo del tejido adiposo, asociado a que comienza a edades más tempranas a depositar este tejido, tienen mayor probabilidad de lograr una mejor respuesta en lo que refiere al crecimiento compensatorio. Esto se debería a que son animales con mayor deposición de tejido adiposo, por lo que presentan un mayor nivel de reservas corporales lo que les permitirá ser más hábiles y resistir mejor durante el período de restricción nutricional en comparación a animales de maduración tardía que presentan un menor desarrollo de este tejido a una misma edad.

La severidad y duración de la restricción juegan un papel importante en la respuesta a la realimentación. Cuanto más severa es la restricción, menor es el peso inicial en la fase de compensación y mayor la ganancia relativa de peso inmediatamente después de la fase de restricción (Wilson & Osbourn, 1960). La restricción puede ser considerada severa (con pérdidas considerables de peso), de mantenimiento (se mantiene constante el peso vivo) o moderada (con pequeñas ganancias de peso) (Bavera et al., 2005b). Según Borges Pelaggio y Frick Capurro (2003), para que se produzca de manera exitosa el fenómeno de crecimiento compensatorio durante la primavera, los animales deben de experimentar ganancias moderadas de peso en el invierno, en torno a 250 g/día. En relación a la duración, un período de restricción excesivamente prolongado puede afectar el crecimiento del animal en forma permanente, produciéndose alteraciones irreversibles en la composición y conformación de la res. Asimismo, según Olazabal y San Martín (2008), la compensación es mejor cuando la duración de la restricción es corta y no muy severa. En caso contrario, la compensación completa podría no lograrse debido a la importante pérdida de peso sufrida durante la restricción. Según Bavera et al. (2005b), en bovinos se recomienda que la restricción no supere los 100 días.

La restricción alimenticia puede estar explicada por una reducción del consumo de alimento o por una reducción en el aporte de nutrientes, principalmente en energía o proteína. Cuando se trata de animales de recría, una restricción en términos de proteína afecta de forma significativa el desarrollo muscular e incluso puede llevar a la degradación del mismo, causando un daño irreparable. Esto se debe a que animales jóvenes presentan escasas reservas de grasa, las cuales son agotadas rápidamente durante la restricción por lo que se moviliza tejido proteico para cubrir los requerimientos. En cambio, cuando se trata

de animales adultos y se restringe la proteína, dentro de ciertos límites, el impacto es menor (Bavera et al., 2005b).

Tanto la cantidad como la calidad del alimento disponible durante el período de realimentación influyen sobre la respuesta desde el punto de vista del crecimiento compensatorio. Durante la fase de realimentación, es necesario una alta disponibilidad de forraje y de alto valor nutritivo (70-75% de digestibilidad) de forma de permitir al animal experimentar elevadas tasas de crecimiento y lograr así la compensación completa (Bavera et al., 2005b).

3.2 MODELOS DE CRECIMIENTO

Para evaluar el crecimiento animal se utilizan diferentes modelos matemáticos, lineales o no lineales, cuyos resultados están condicionados por la interacción del genotipo (potencial genético del animal para crecer) y el ambiente de producción (alimentación, sanidad, manejo, etc.). Dichos modelos, son elegidos por su bondad de ajuste y, algunos de ellos, por la facilidad de interpretación biológica de sus parámetros (Agudelo et al., 2007).

Por su parte, Agudelo et al. (2007) mencionan que a pesar de que la mayoría de las funciones matemáticas explican las curvas de crecimiento, no siempre brindan una explicación clara sobre las tasas medias de crecimiento en dichas curvas, debido a que en muchos casos el comportamiento del crecimiento varía de acuerdo con la etapa fisiológica en que se encuentre el animal, viéndose afectada, entre otros aspectos, la ganancia diaria de peso.

De acuerdo con Berlanga et al. (1995), ajustar una curva de crecimiento y obtener una función matemática a partir de ella, puede hacerse con un objetivo descriptivo o predictivo. El primer caso es posible ya que se logra resumir en muy pocos parámetros el efecto de una serie de factores presentes en cada combinación edad-peso, y el segundo gracias a que los parámetros resultantes del modelo presentan la capacidad de estimar la velocidad de crecimiento de un animal, el peso que tendrá a una determinada edad, sus necesidades nutricionales, etc.

3.2.1 Modelos lineales

Dentro de los modelos lineales se pueden encontrar curvas lineales, cuadráticas o polinomiales:

- Lineal: $y = a + bx$
- Cuadrático: $y = a + bx + cx^2$
- Polinomiales: $y = a + bx + cx^2 + \dots + zx^n$

En este tipo de modelos, “y” representa el peso del animal para una determinada edad (“x”). El parámetro “a” representa la ordenada en el origen, y cuando se trata de ajustar este tipo de modelos a la curva de crecimiento de los animales, este parámetro se corresponde con el peso al nacer de los mismos. Por último, los parámetros “b”, “c”, “...” y “z” son los coeficientes de regresión.

Según Delgado et al. (2000), las curvas polinómicas constituyen las curvas de crecimiento más estudiadas en la bibliografía debido a su facilidad de cálculo. Sin embargo,

este tipo de modelos tienen la desventaja de que, a excepción del modelo lineal (y tal vez el cuadrático), no posean una fácil interpretación. En este mismo sentido, Agudelo et al. (2007) mencionan que no es aconsejable ajustar un polinomio cúbico o de potencias superiores a un conjunto de datos ya que no siempre los coeficientes de dichos modelos tienen una interpretación biológica, a ello se le suma que el comportamiento de la ecuación podría ser ilógico al quedar fuera de la nube de puntos y que el ajuste del polinomio es arbitrario.

El modelo lineal, asume que el crecimiento del animal a lo largo de toda su vida es constante, es decir que crece siempre a una misma tasa de ganancia de peso (Delgado et al., 2000), cuando en la realidad esto no ocurre. En términos generales, la tasa de ganancia diaria de peso aumenta a un ritmo acelerado desde el nacimiento y se hace máxima en torno a la pubertad, para luego comenzar a descender, dando origen a la curva sigmoidea característica de crecimiento (Bavera et al., 2005a). Asimismo, para una determinada edad y genética, la tasa de ganancia diaria depende de una serie de factores tales como la alimentación, la sanidad, el manejo, etc. A pesar de ello, la curva lineal, que es la más fácil de utilizar y de interpretar, sí podría servir para explicar el crecimiento en intervalos más o menos cortos de la vida del animal (Delgado et al., 2000).

3.2.2 Modelos no lineales

Según Agudelo et al. (2007), los modelos de crecimiento deben poseer una serie de características para que puedan ser usados en los sistemas de producción tales como: tener un punto de inflexión, presentar una asíntota horizontal, tener un comportamiento lógico y no permitir valores anormales desde el punto de vista biológico. Además, otra característica deseable que tengan estos modelos es la de flexibilidad, entendida como la capacidad de ajuste con precisión a diferentes conjuntos de datos. En este sentido, aparecen los modelos no lineales o también conocidos como modelos biológicos.

Este tipo de modelos fueron desarrollados específicamente para calcular el crecimiento del animal desde el nacimiento hasta la adultez (Azor et al., 2005), y en general, presentan al inicio una fase de tasas de crecimiento crecientes, un punto de inflexión, otra fase donde el peso aumenta a tasas decrecientes y una etapa final de estabilización.

Dentro de este tipo de modelos, las funciones matemáticas más utilizadas son las siguientes:

- Gompertz: $y = Ae^{-Be^{(-kt)}}$
- Brody: $y = A (1 - Be^{-kt})$
- Von Bertalanffy: $y = A (1 - Be^{-kt})^3$
- Logístico: $y = A (1 + Be^{-kt})^{-1}$
- Richards: $y = A (1 - Be^{kt})^M$

Los componentes de los modelos biológicos son:

- y : Peso vivo del animal a la edad “ t ”.

- t: Edad del animal.
- A: Peso adulto o asintótico (kg).
- B: Constante de integración.
- k: Pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento ($\text{Kg} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$).

El parámetro “A” representa el peso asintótico cuando “t” tiende a infinito, y es interpretado como el peso adulto cuando el animal alcanza su madurez, independientemente de fluctuaciones de peso debidas a efectos genéticos y ambientales (Posada et al., 2011).

Por otro parte, el parámetro “k” conocido como índice de madurez, estimativa de precocidad de madurez o tasa de madurez postnatal, mide la eficiencia del crecimiento del animal a partir de la relación entre la tasa de crecimiento máxima y el peso adulto del animal, y constituye un indicador de la velocidad con la que el animal se aproxima a su peso adulto. Cuanto mayor sea el valor de este parámetro más precoz es el animal, mientras que valores bajos se corresponden con un animal menos precoz, o sea, de madurez tardía (Posada et al., 2011).

En lo que respecta al parámetro “M”, éste únicamente en el modelo de Richards asume valores que no son fijos, a diferencia de lo que sucede con los otros modelos, y se denomina parámetro de inflexión correspondiéndose con el punto en el que el animal pasa de crecer a tasas aceleradas a crecer a tasas desaceleradas (Posada et al., 2011).

Por último, el parámetro “B”, denominado parámetro de integración o intercepción con el eje Y, no posee ningún significado biológico y es utilizado para adecuar el valor inicial de peso vivo de forma de hacer que la curva pase por el origen cuando $Y \neq 0$ y/o $t \neq 0$ (Posada et al., 2011).

En un trabajo de grado realizado por Bistolfi Lagaxio et al. (2014), cuyo objetivo fue modelar las curvas de crecimiento desde el nacimiento hasta los dos años de edad de terneros de diferentes genotipos de razas británicas, se compararon diferentes modelos matemáticos. Se observó que el modelo de Gompertz tendía a sobreestimar los pesos a edades tempranas del animal (cercanas al nacimiento) y subestimar los pesos a la madurez. Por su parte, el modelo de Brody fue el que presentó el mayor coeficiente de determinación para esa base de datos ($r^2 = 0,96$), sobreestimó el peso al nacer de los terneros y estimó bastante bien el peso adulto de los animales para esos genotipos, los cuales fueron similares a los reportados para dichas razas y cruza en condiciones nacionales de producción. En relación al modelo de Von Bertalanffy, este modelo tuvo un comportamiento similar al observado con el modelo de Gompertz, sobreestimando los pesos al nacimiento y subestimando los pesos adultos de los animales. Por último, con respecto al modelo logístico, el cual a priori era de esperar que alcanzara el mejor ajuste a los datos teniendo en cuenta que la curva de dicho modelo es sigmoide, no fue el modelo que obtuvo el mayor coeficiente de determinación, pero fue el que mejor estimó los pesos al nacer de los terneros, aunque subestimó el peso adulto de los mismos al igual que otros modelos.

3.3 PUBERTAD Y PRIMER ENTORE

La edad con la que se entora por primera vez una vaquillona es una variable que influye sobre la eficiencia reproductiva de los rodeos de cría (Orcasberro, 1997). En la medida que ésta se reduce, se logra disminuir las categorías improproductivas de animales dentro del establecimiento y aumentar el número de terneros que desteta una vaca durante su vida productiva, impactando así sobre la eficiencia económica de los sistemas. Para lograr esto es necesario adelantar la edad en la que las vaquillonas inician la pubertad (Fiol et al., 2008).

La pubertad puede ser definida como el inicio de la actividad reproductiva. Es el resultado gradual entre la actividad de las gónadas para producir gametos y esteroides, existiendo un adecuado perfil de gonadotropinas producidas por la hipófisis. Por lo tanto, la pubertad es el comienzo de la liberación de gametos, acompañado por la manifestación de comportamiento sexual (Fernández Abella, 1993). Kinder et al. (1987) definen pubertad en la hembra como el primer comportamiento estral acompañado por el desarrollo de un cuerpo lúteo que se mantiene funcional por el período característico de cada especie en particular. En este sentido, Rovira (1996) indica que las vaquillonas alcanzan la pubertad cuando éstas manifiestan su primer celo (o estro) acompañado de la ovulación correspondiente. Este mismo autor menciona que lo más común es que previamente se hayan producido celos silentes, es decir, ovulaciones sin manifestación visible de celo.

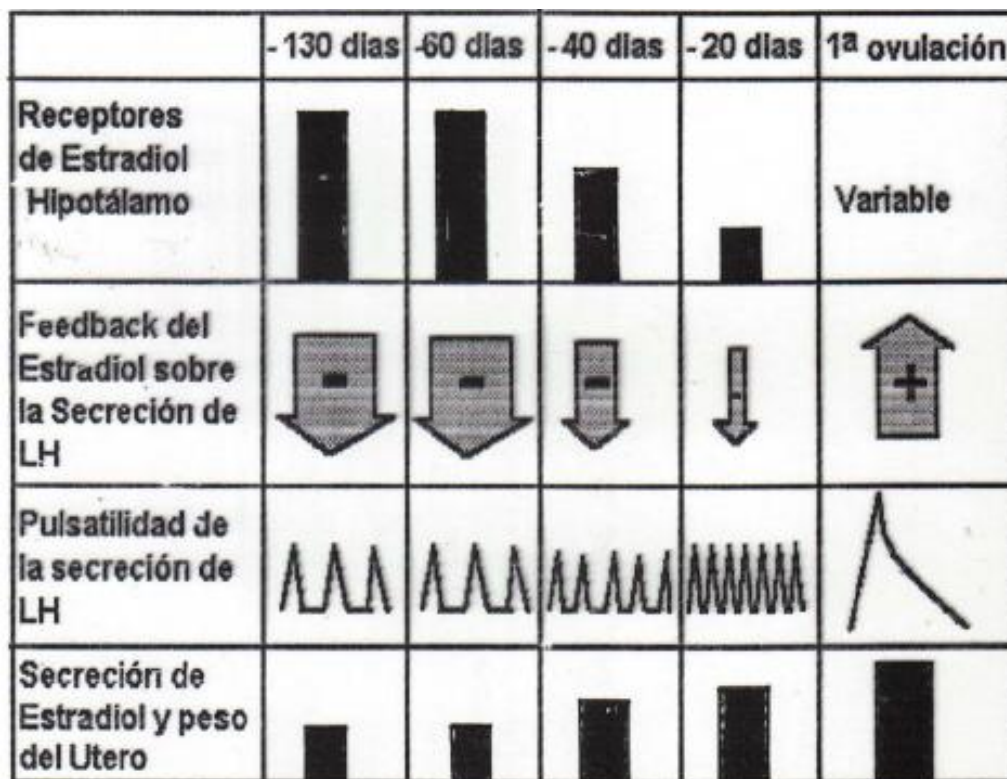
3.3.1 Proceso de desencadenamiento de la pubertad

Existe una serie de trabajos que indican que algunos de los componentes del sistema endócrino - reproductivo están funcionales mucho antes de que ocurra el fenómeno de la pubertad (Day et al., 1984; Foster, 1994; Schillo et al., 1982, 1992). Schoppee et al. (1996) reportaron que la administración de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) en vaquillonas de 6 meses de edad produjo un incremento en la concentración de hormona folículo estimulante (FSH) y de hormona luteinizante (LH). Según Kinder et al. (1987), en hembras prepúberes los ovarios producen estrógenos cuando son estimulados con FSH y LH. Por lo tanto, el desencadenamiento de la pubertad no estaría siendo limitado por la adenohipófisis ni tampoco por los ovarios, sino por el hipotálamo. Este último falla en producir cantidades suficiente de GnRH como para estimular la secreción de gonadotropinas (LH y FSH), en particular de LH, la cual es responsable de generar el pico preovulatorio de LH que induce la ovulación (Kinder et al., 1987).

En el período prepuberal, tanto en hembras como en machos, los pulsos de GnRH son de baja frecuencia y de baja amplitud. Esto se debe a que, durante este período, los bajos niveles de estradiol circulante que producen los ovarios, ejercen un importante feedback negativo sobre el hipotálamo, por lo tanto, no se producen niveles altos de GnRH por lo que las gonadotropinas permanecen bajas. En la etapa de transición, la concentración de receptores de estradiol en el hipotálamo disminuye, y a medida que se acerca la pubertad, la sensibilidad al feedback negativo del estradiol empieza a reducirse. Esto permite que el hipotálamo produzca elevadas cantidades de GnRH, que actúan sobre la adenohipófisis estimulando la síntesis y secreción de LH y FSH. De esta forma, por acción de la LH, se promueve la maduración final de los folículos, generando un incremento en la secreción de estradiol. Esta última hormona, pasa a ejercer un feedback positivo sobre la secreción de LH, de forma que se produce una descarga masiva de LH que genera la ovulación (Cuadro 1) (Kinder et al., 1987).

Cuadro 1

Modelo explicativo del control endócrino de la pubertad en vaquillonas



Nota. Adaptado de Kinder et al. (1987).

3.3.2 Factores que afectan la aparición de la pubertad en vaquillonas

En las hembras bovinas, existen muchos factores que influyen en la edad y peso en la cual la vaquillona alcanza la pubertad. Entre ellos se destacan el plano nutricional, el genotipo, el fotoperíodo, la bioestimulación, entre otros (Quintans & Roig, 2008).

La hembra bovina debe alcanzar cierto desarrollo corporal antes de que se inicie la pubertad. Según Lindsay et al. (s.f., como se cita en Quintans, 2002), una hembra no entrará en pubertad hasta que no alcance un estado de desarrollo que le asegure la capacidad de tener y cuidar una cría. Por esta razón, la pubertad está más fuertemente relacionada con el estado de desarrollo, peso vivo y reservas corporales, que con la edad cronológica.

Según Quintans (2008), es necesario que las vaquillonas alcancen entre 65-70% del peso adulto para comenzar a ciclar. Asimismo, Costa Gómez et al. (2007) determinaron en su trabajo que el peso estático no sería el único factor determinante para que una vaquillona alcance la pubertad, sino que la dinámica de la ganancia de peso (peso dinámico) también influye. En este sentido, Quintans y Roig (2008) indica que vaquillonas de similar peso al inicio del servicio puedan presentar un estatus ovárico diferente explicado

por la evolución de peso previo al momento del servicio. Sin perjuicio de lo anteriormente mencionado, Nelsen et al. (s.f., como se cita en Borges Pellagio y Frick Capurro, 2003), indican que es necesario que el hembra alcance una edad mínima para lograr la madurez sexual.

3.3.2.1 Nutrición

Resultados experimentales evidenciaron que tanto el plano nutricional predestete como postdestete, influyen sobre la edad en la que las vaquillonas entran en la pubertad, y en términos generales, una mejor alimentación tanto en el pre como postdestete, permite a las vaquillonas alcanzar la pubertad con menor edad y con mayor peso vivo (Rovira, 1996). Pittaluga y Rovira (1968) reportaron que terneras Hereford manejadas en el predestete con un plano nutritivo alto (GMD: 700 g/día), alcanzaron la pubertad a menor edad (13,5 meses vs 14,2 meses) y con mayor peso (260 kg vs 239 kg) en relación a terneras que fueron sometidas a un plano nutritivo bajo (GMD: 530 g/día), a pesar de que en el postdestete ambos lotes fueron manejados bajo las mismas condiciones alimenticias (GMD: 507-530 g/día).

Asimismo, Short y Bellows (1971) realizaron un trabajo en el que evidenciaron una marcada influencia del nivel nutritivo postdestete invernal sobre el peso y edad a la pubertad. Estos autores encontraron que, las vaquillonas sometidas a un alto nivel nutritivo (GMD: 680 g/día) alcanzaron la pubertad un mes y medio antes respecto a las vaquillonas que fueron manejadas con un plano nutricional bajo (GMD 230 g/día) y un mes antes que las que se sometieron a un nivel nutritivo medio (GMD: 450 g/día). Asimismo, no solo alcanzaron la pubertad a menor edad, sino que también el peso a la pubertad fue mayor conforme se mejoró el plano nutritivo (259 kg vs 248 kg vs 238 kg).

En un trabajo preliminar realizado en la Unidad Experimental Palo a Pique durante el año 2001 (Quintans, 2002) se observó que solo el 40% de las terneras (cruzas Aberdeen Angus x Hereford) que habían experimentado elevadas ganancias de peso durante el invierno, alcanzaron la pubertad con un peso de 280 kg. Esto puede deberse a la introducción de genética importada en los últimos 30 años, lo que conllevó a un incremento en el tamaño adulto de los animales, con el consecuente aumento de peso en el que las vaquillonas alcanzan la pubertad.

Existen evidencias experimentales que indican que señales metabólicas (metabolitos y hormonas metabólicas) asociadas al plano nutricional influyen sobre la secreción de GnRH, por lo que indirectamente inciden sobre la liberación de FSH y LH. La restricción nutricional durante el período prepuberal potencia el feedback negativo que ejercen los estrógenos sobre el hipotálamo, generando una disminución en la secreción de GnRH y por ende, en la secreción de gonadotropinas, entre ellas de LH (Imakawa et al., 1987; Wiltbank et al., 2002). Según Foster y Ryan (1979, como se cita en Fernández Abella, 1993), la baja frecuencia de pulsos de LH lleva a una secreción pobre de estradiol por los folículos ováricos, impidiendo que se produzca el pico preovulatorio de LH y por ende la ovulación, de forma que se retrasa la pubertad. Day et al. (1986, como se cita en Kinder et al., 1987), encontraron que la concentración de LH disminuía en vaquillonas prepúberes manejadas con un plano de alimentación restrictivo respecto a vaquillonas bien alimentadas, y conforme se mejoró la dieta, aumentó la concentración de LH y la pubertad ocurrió a edades más tempranas. Kurz et al. (1990) observaron que la frecuencia de pulsos de LH se mantenía en niveles bajos en vaquillonas que fueron sometidas a una dieta restrictiva en energía y al finalizar la restricción, se incrementaba rápidamente la frecuencia

de pulsos de LH. Según Foster et al. (1985), incluso en ausencia del feedback negativo al estradiol, el nivel nutricional tiene un fuerte efecto modulador en la actividad del generador de pulsos de GnRH.

A su vez, según Diskin et al. (2003), un balance energético negativo, asociado a una restricción nutricional, genera una disminución en las concentraciones de insulina, señal metabólica que influye en la secreción de LH y regula la sensibilidad de los ovarios a las gonadotropinas. Asimismo, el balance energético afecta la concentración plasmática de la hormona de crecimiento (GH) (Bossis et al., 1999), aumentándola en condiciones de balance energético negativo, lo que provoca un estado de resistencia a la insulina en los tejidos periféricos (Laporta, 2011).

Bossis et al. (2000) reportaron una disminución en las concentraciones en plasma del factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF-1) asociada a la ocurrencia de una restricción alimenticia. Granger et al. (s.f., como se cita en Diskin et al., 2003), mencionan que concentraciones bajas de este factor, están asociadas con el atraso de la pubertad. El IGF-1 aumenta la sensibilidad de las células de la granulosa a la FSH, actuando como modulador del efecto de la FSH sobre el crecimiento de los folículos. El menor nivel de IGF-1 contribuye a atrasar el inicio de la pubertad debido a que reduce la sensibilidad de los ovarios a las gonadotropinas (Schoppee et al., 1996).

Por otro lado, la leptina, hormona sintetizada y secretada por el tejido adiposo, cuyas concentraciones reflejan el status nutricional del animal asociado al nivel de reserva de energía en el tejido adiposo, también influye en este proceso (Blache et al., 2006). Schillo et al. (1992), indicaron que el nivel de grasa corporal en las vaquillonas, produce cambios endócrinos que son necesarios para el inicio de la pubertad. Elevadas ganancias de peso durante el período prepuberal, facilitan la acumulación de tejido adiposo aumentando la síntesis y liberación de leptina. El aumento de leptina circulante, genera una señal al sistema nervioso central, indicando la disponibilidad de suficientes reservas nutricionales, promoviendo así la entrada a la pubertad (Amstalden et al., 2014). La leptina no actúa directamente sobre las neuronas de GnRH, sino que interviene a través de la inhibición del neuropéptido Y del hipotálamo, el cual estimula el consumo e inhibe la secreción de GnRH y la liberación de LH (McShane y col., 1992, Barb, 1999, Håkansson et al., s.f., como se cita en Amstalden et al., 2014). Por el contrario, períodos de restricción alimenticia reducen la expresión del gen de la leptina en el tejido adiposo, por lo que disminuye la concentración de leptina circulante, generando una reducción en la pulsatilidad de LH en vaquillonas prepúberes (Amstalden et al., 2000).

3.3.2.2 Genotipo

Existen importantes diferencias en la edad y en el peso en que las distintas razas alcanzan la pubertad. Según Rovira (1996), las razas británicas alcanzan antes la pubertad, en especial en comparación con las razas cebuinas, y también, aunque en menor medida, en relación a las razas de origen continental. Gregory et al. (1979) encontraron que vaquillonas de la raza Nelore, Brahman, Brangus y Hereford alcanzaron la pubertad a los 412, 439, 385 y 365 días respectivamente.

En relación al peso con el que las vaquillonas de diferentes genotipos alcanzan la pubertad, O'Mary y Dyer (1978) reportaron que para lograr entre un 85-90% de las vaquillonas en celo, vaquillonas de raza Aberdeen Angus debían pesar al menos 295 kg, vaquillonas Hereford 320 kg, mientras que vaquillonas cruza Brahman x raza británica

debían pesar como mínimo 340 kg. Gregory et al. (1979) encontraron que vaquillonas Brahman x Hereford alcanzaron la pubertad 76 días más tarde y con 36 kg más de peso que el promedio de las cruzas Hereford x Aberdeen Angus. Aproximadamente un 90% de las vaquillonas Hereford x Angus presentaron celo a los 340 kg de peso vivo mientras que un 86% de las vaquillonas cruza Brahman x Hereford mostraron celo con un peso en torno a 370 kg.

A su vez, existen diferencias entre cruzas con respecto a las razas parentales en cuanto a la edad y al peso con el que alcanzan la pubertad. Vaquillonas producto del cruzamiento entre razas carniceras suelen alcanzar la pubertad a edades más tempranas debido a un efecto propio de la heterosis, el cual permite una mayor tasa de ganancia diaria de peso de las vaquillonas cruza respecto a las puras, lo que determina que las primeras alcancen la pubertad a menor edad y con mayor peso (Gregory et al., 1978). En un trabajo realizado por Laster et al. (1972) en el que se trabajó con vaquillonas puras de razas británicas (Hereford y Angus) y sus cruza, se encontró que las vaquillonas cruza alcanzaban la pubertad 20 días antes en relación a las vaquillonas puras. Sin embargo, en vaquillonas cruza Bos Indicus, el efecto de la heterosis sobre la precocidad de la hembra para alcanzar la pubertad no es el mismo que para vaquillonas cruza Bos Taurus. Borges Pelaggio y Frick Capurro (2003), encontraron que ninguna de las vaquillonas cruza Brahman x Hereford o Brahman x Aberdeen Angus alcanzaron la pubertad antes en comparación con las razas británicas parentales.

3.3.2.3 Factores secundarios

Autores como Kinder et al. (1987) indican que el fotoperíodo no es un factor de gran importancia para las vacas, debido a que éstas son consideradas como poliéstricas continuas, asociado a que el ciclo estral se produce de manera continua a lo largo de todo el año, por lo que no tienen una estación reproductiva definida. Por el contrario, existen otros autores que concluyen que, aunque el ganado bovino cicla todo el año, existe una influencia de factores estacionales sobre la edad a la pubertad en vaquillonas. Hafez (1996) menciona que el fotoperíodo ejerce una influencia en la entrada a la pubertad en el caso de las vaquillonas, en el que las condiciones invernales durante el período prepuberal retrasan la pubertad. Aharoni et al. (1997) encontraron que, generalmente, en condiciones de día largos, aumenta el consumo de alimento, la ganancia de peso y el desarrollo de órganos que están asociados con la maduración y disminución de la edad a la pubertad.

Asimismo, la fecha de nacimiento dentro de una estación de parto también tiene un efecto sobre la actividad reproductiva de la vaquillona. Funston et al. (2012) realizaron un trabajo en el que se estudió el efecto de la fecha de nacimiento de la ternera sobre su actividad productiva y reproductiva. Estos autores observaron que las terneras que habían nacido en los primeros días de la estación de parto (1-21 días) eran en promedio al destete, 16 y 36 días más viejas que las del segundo (22 a 42 días) y tercer grupo (43 días en adelante) respectivamente, y a su vez, eran más pesadas 219, 213 y 197 kg. Esta diferencia de peso al destete se mantuvo en el tiempo, y permitió que las terneras nacidas en el primer período de parto estuviesen en mayor proporción ciclando normalmente al comienzo del servicio respecto a las terneras nacidas más avanzada la estación de partos (70%, 58% y 39%). King et al. (1983) obtuvieron un valor de -0,51 para la regresión entre edad de las terneras al destete y edad a la pubertad de las mismas, de forma que, a medida que aumenta la edad al destete, disminuye la edad a la pubertad.

La bioestimulación o efecto macho, se define como el estímulo provocado por la presencia de los machos, induciendo el estro y la ovulación mediante estímulos genitales, feromonas u otras señales químicas (Chenoweth, 1983). Kunkle y Sand (1993, como se cita en Quintans y Roig, 2008), realizaron un trabajo en Nebraska en el cual se expuso vaquillonas prepúberes a machos estériles androgenizados y se logró adelantar en 40 días la pubertad. El 50% de esas vaquillonas se lograron preñar en los primeros 21 días mientras que solo un 16,5% de las vaquillonas que no fueron expuestas a machos se preñaron en dicho período.

Fiol et al. (2008), en un ensayo realizado en la Unidad Experimental de Palo a Pique en Treinta y Tres en el que se utilizaron vaquillonas prepúberes Hereford y Hereford x Aberdeen Angus de 12 meses de edad, encontraron que la frecuencia acumulada de vaquillonas ciclando a partir del día 21 del ensayo había sido mayor en el grupo de vaquillonas que habían sido expuesta a novillos androgenizados durante 35 días en relación a las vaquillonas que no fueron expuestas a machos (15,2% vs 3,1%). Asimismo, encontraron que una mayor proporción de las vaquillonas del grupo de mayor peso (237-302 kg) y que habían sido expuestas a novillos androgenizados habían alcanzado la pubertad durante el período de exposición en comparación con el grupo de vaquillonas de mayor peso pero que no habían sido expuesta a los novillos (11/20 vs 2/21), no existiendo diferencias entre los grupos de peso medio (212-236 kg) y bajo (168-211 kg). Estos autores concluyeron que la bioestimulación con machos androgenizados a vaquillonas prepúberes habría logrado adelantar el inicio de la actividad cíclica de aquellas vaquillonas que presentaban mayores pesos corporales respecto al peso mínimo necesario para comenzar la pubertad, sugiriendo la existencia de un peso mínimo de las vaquillonas para lograr una respuesta positiva a la bioestimulación en el adelanto de la pubertad.

Si bien existen varios factores que influyen en la respuesta de las vaquillonas a la bioestimulación, tales como la edad y peso de la hembra al momento del estímulo, la edad de los machos que se utilizan, la relación macho/hembra así como la duración de la exposición, entre otros factores, a pesar de que los resultados puedan ser aleatorios, éstos son siempre positivos o neutros en cuanto a la respuesta reproductiva (J. Rodríguez, comunicación personal, 2022). Asimismo, su utilización es de fácil aplicación, bajo costo para el productor y carece de efectos adversos (Fiol et al., 2008).

3.4 IMPACTO DE LAS MEDIDAS DE MANEJO APLICADAS EN LA ETAPA DE CRÍA SOBRE EL PESO DE LAS TERNERAS AL DESTETE Y EN LA ETAPA DE RECRÍA

Uno de los factores que incide sobre la duración del período de recría es el peso al destete. Este último está influenciado por el genotipo de la ternera y por el plano nutricional al que fue sometido el par vaca-ternera, el cual incide sobre la producción de leche de la madre y sobre el consumo de forraje del par vaca-ternera (Claramunt & Rodríguez Palma, 2015).

La suplementación preferencial de las terneras, así como también la implementación de medidas de manejo que contribuyan al aumento en la producción de leche de la vaca, como por ejemplo manejando a la vaca con una alta de forraje (Claramunt et al., 2018; Do Carmo et al., 2018; Espasandín et al., 2013; Gutiérrez et al., 2012), permitirán, directa o indirectamente, aumentar el peso al destete de las terneras, acelerar su recría y entorlarlas a edades más tempranas (Guggeri et al., 2014; Viñoles et al., 2012, 2013).

3.4.1 Efecto del nivel de asignación de forraje en la etapa de parto y lactancia

Gutiérrez et al. (2012), realizaron un experimento en el que se evaluó el efecto de una diferente asignación de forraje de campo natural, alta oferta (4 kg MS/kg PV) y baja oferta (2,5 kg MS/kg PV), sobre la producción de leche y el crecimiento de los terneros, entre otros aspectos, utilizando dos grupos genéticos de vacas, puras (Hereford y Angus) y sus cruza F1 (Hereford x Angus). En relación a los resultados, la producción de leche fue superior en el tratamiento de alta oferta de forraje en relación al de baja oferta, y las vacas cruza alcanzaron una mayor producción de leche que las puras, siendo las vacas puras en baja oferta las que produjeron menos leche. Por su parte, el peso de los terneros al nacimiento no fue afectado ni por la oferta de forraje ni por el genotipo o su interacción, pero los machos fueron más pesados que las hembras. Al destete, el peso de los terneros tendió a ser mayor en los hijos de vacas manejadas a alta oferta de forraje en comparación con el de los hijos de vacas manejadas a baja oferta, y terneros hijos de vacas cruza fueron más pesados que los hijos de vacas puras, así como los machos fueron más pesados que las hembras. Estas diferencias en el peso al destete están asociadas a mayores ganancias diarias de peso desde el nacimiento hasta el destete. Los terneros manejados en alta asignación de forraje experimentaron una tasa de ganancia en el orden de 0,795 kg/día mientras que en los de baja asignación la ganancia fue de 0,720 kg/día. Por su parte, los hijos de vacas cruza respecto a los hijos de vacas puras presentaron una mayor tasa de ganancia diaria, 0,793 vs 0,723 kg/día, en tanto que los terneros machos experimentaron una mayor tasa de ganancia que las hembras (0,802 vs 0,713 kg/día). Asimismo, desde el destete hasta los 380 días de edad, el peso de los terneros manejados en alta oferta fue superior en relación a los de baja oferta y terneros hijos de vacas cruza fueron más pesados que los de vacas puras.

En un trabajo realizado por Claramunt et al. (2018) se estudió durante dos años consecutivos, entre otros factores, el efecto que tuvo el nivel de oferta de forraje (alta vs baja, 4 y 2,5 kg MS/kg PV promedio anual respectivamente) a la cual se manejaron las vacas primíparas durante el pre y postparto sobre el peso al nacer de sus terneros y sobre el peso de los mismos a los 205 días de edad (destete). Se encontró que el nivel de oferta de forraje no afectó significativamente el peso al nacer de los terneros, pero sí generó diferencias significativas en el peso ajustado al destete. En los dos años evaluados, el peso de los terneros hijos de vacas manejadas a alta oferta fue de 203 y 183 kg respectivamente, siendo en promedio, 18 kg más pesados a los 205 días de edad que los hijos de vacas que fueron manejadas a baja oferta de forraje (183 y 166 kg). Dicha diferencia en el peso al destete se originó fundamentalmente durante los últimos 85-90 días de lactancia.

Espasandin et al. (2013) encontraron que la oferta de forraje a la cual se había manejado el par vaca-ternero presentó un efecto significativo sobre el peso al destete de los mismos. En este sentido, los terneros hijos de vacas manejadas en alta oferta de forraje fueron en promedio 10 kg más pesados que los hijos de vacas manejadas a baja oferta (123 ± 3 y 113 ± 3 kg). Do Carmo et al. (2018) trabajaron durante dos años (ciclos) con vacas puras Hereford y Aberdeen Angus y sus cruza recíprocas F1, y con dos niveles de oferta de forraje: 4,9 y 2,9 kg MS/kg PV correspondientes a alta y baja oferta respectivamente. A cada grupo genético les asignaron los dos niveles de oferta de forraje con el objetivo de determinar el efecto de la oferta de forraje y del grupo genético de la vaca sobre una serie de variables vinculadas a la producción de forraje y a la producción animal. Como resultado de este trabajo, encontraron que, en ninguno de los dos años evaluados, el peso al nacer de los terneros se vio afectado por el grupo genético de la madre ni por el nivel de oferta de forraje al cual se manejó la vaca. A su vez, encontraron que las vacas

manejadas a alta oferta de forraje destetaron terneros que fueron 18 y 10 kg más pesados que los que destetaron las vacas manejadas a baja oferta de forraje, para el año 1 y 2 respectivamente (119,5 vs 101,8 kg y 133,7 vs 123,7 kg). Esta diferencia en el peso al destete se debió a mayores ganancias de peso de los terneros hijos de vacas manejadas en alta oferta de forraje: 0,82 vs 0,62 kg/día (año 1) y 0,80 vs 0,69 kg/día (año 2). Además, señalaron que terneros hijos de vacas cruza fueron 18 y 10 kg más pesados al destete respecto a los hijos de vacas puras, para el año 1 y 2 respectivamente (119,8 vs 101,5 kg y 134 vs 123 kg), pero solamente en el año 1 la ganancia diaria de los terneros hijos de vacas cruce fue superior estadísticamente.

3.4.2 Nutrición preferencial de la ternera al pie de la madre

Ante situaciones de forraje de baja calidad, disponibilidad de forraje limitada y/o producción de leche menor a la que el ternero requiere, podría minimizarse el efecto negativo de estas condiciones sobre el peso al destete de los terneros suplementándolos de manera preferencial al pie de la madre (creep feeding), de forma que los mismos experimenten un incremento en su tasa de ganancia y, por ende, en el peso al destete (Scaglia, 2004).

El creep feeding aplicado entre los 2 a 5 meses de edad, permite que los terneros alcancen mayores tasas de ganancia de peso en etapas tempranas de la vida, ya que determina cambios a nivel metabólico (aumento en las concentraciones de hormonas metabólicas) que estimulan el crecimiento y desarrollo corporal, determinando, en el caso de las vaquillonas, que éstas alcancen la pubertad a edades más tempranas y lleguen al primer servicio ciclando regularmente (Guggeri et al., 2012). Esto permite que las vaquillonas tengan una mayor probabilidad de preñarse al inicio del servicio (Soares de Lima & Viñoles, 2010). Las vacas primíparas conforman la categoría más difícil de preñar dentro de un rodeo de cría asociado a que tienen un anestro postparto que dura más de 120 días, lo que contribuye a que éstas alcancen bajas tasas de preñez en su segundo entore (Quintans et al., 2009). En la medida que las vaquillonas conciben temprano en su primer servicio, van a parir más temprano, por lo tanto, dispondrán de una mayor cantidad de días previo a su segundo servicio para recuperarse y volver a ciclar, aumentando así la probabilidad de quedar preñadas en su segundo entore.

Guggeri et al. (2014) realizaron un experimento cuyo objetivo fue comparar grupos de terneras de aproximadamente 80 kg, que fueron destetadas precozmente (75 días de edad) y suplementadas al 1,5% del peso vivo (Grupo I), con terneras que fueron destetadas de forma tradicional (158 días de edad), con o sin suplementación durante un período comprendido entre el día 75 y 158 de la lactancia (período I), suplementadas a razón de 1,3% del peso vivo (Grupo II y III respectivamente). Posteriormente, desde el día 158 al 539 de edad (período II), todas las terneras fueron manejadas bajo las mismas condiciones nutricionales.

Cuadro 2

Resultados experimentales: ganancia diaria de peso y edad a la pubertad

	Período I (75 a 158 días)		Período II (158 a 539 días)		
	Ganancia kg/día $\pm$ 0,03	Peso final aprox. (kg)	Ganancia kg/día $\pm$ 0,01	Peso final aprox. (kg)	Pubertad (días aprox.)
Grupo I (DP)	0,75	142	0,41	298	526 $\pm$ 7,2
Grupo II (DT + CF)	1,25	183	0,39	332	472 $\pm$ 8,0
Grupo III (DT - CF)	0,83	148	0,42	308	484 $\pm$ 3,4

Nota. DP: destete precoz, DT + CF: destete tradicional y creep feeding, DT – CF: destete tradicional sin creep feeding. Adaptado de Guggeri et al. (2014).

En lo que respecta al crecimiento durante el período I, las terneras destetadas a los cinco meses de edad y suplementadas al pie de la madre alcanzaron una mayor tasa de ganancia diaria, entre un 50 y 70% superior en relación a los restantes grupos, alcanzando un mayor peso al destete (+40 kg) (Cuadro 2). También fueron las que alcanzaron un mayor peso corporal al final del período II a pesar de tuvieron una menor tasa de ganancia diaria en dicha etapa. En relación a la pubertad, si bien no hubo diferencias significativas en términos de peso vivo con el que la alcanzaron las terneras del Grupo II, éstas la iniciaron a edades más tempranas. La aplicación del creep feeding a edades tempranas del animal, tuvo un efecto positivo sobre la tasa de crecimiento y de ganancia de peso de las terneras. Esto último les permitió que alcanzaran mayores pesos al destete y la pubertad a edades más tempranas que terneras destetadas en forma precoz y que terneras destetadas a los cinco meses de edad sin suplementación al pie de la madre.

Resultados similares fueron obtenidos por Viñoles et al. (2014a) en experimentos realizados durante 3 años consecutivos, en el que se evaluó el efecto de la edad al destete y la administración o no de un concentrado de los 2 a los 5 meses de edad. Para ello, se utilizaron terneras Hereford, las cuales fueron distribuidas en los siguientes tratamientos: destete precoz a los 2 meses de edad y suplementadas al 1,5% del peso vivo, destete tradicional a los 5 meses de edad con creep feeding o sin creep feeding. En promedio las tasas de ganancias de peso de las terneras que accedieron a creep feeding fueron 33% superiores a las que no lo hicieron (0,917 vs 0,691 kg/día) y las de éstas 32% superiores a las terneras que fueron destetadas en forma precoz (0,691 vs 0,470 kg/día), lo que determinó que los pesos al destete fueran 14% (183 vs 160 kg) y 16% (160 vs 134 kg) superiores respectivamente. Durante el período de alimentación conjunta, 5 a 13 meses de edad, las similares tasas de ganancia de peso determinaron que las diferencias de peso continuaran siendo evidentes hasta el final del período de recría de las terneras. La ventaja en peso vivo de las terneras destetadas a los cinco meses de edad y que recibieron creep feeding durante la lactancia, permitió que una mayor proporción de las mismas llegaran ciclando al primer servicio (73% vs 44% vs 35% para las terneras que accedieron al creep feeding, para las que no lo hicieron y para las que se destetaron de forma precoz, respectivamente).

Otra tecnología utilizada en la cría vacuna es el destete precoz. Esta alternativa consiste en separar de forma anticipada y definitiva al ternero de su madre, con el objetivo de incrementar la probabilidad de preñez en vacas de parición primaveral que tengan una condición corporal al parto menor a 3 y en vacas primíparas (Simeone & Beretta, 2002), mediante cambios en los principales factores que determinan el anestro posparto: la nutrición energética y el amamantamiento (Short et al., 1990; Williams, 1990). Según Neville y McCormick (1981) y Myers et al. (1999), el destete precoz permite a las terneras obtener mayores ganancias de peso respecto a terneras destetadas en forma tardía. La combinación del destete precoz y la administración de una dieta alta en energía hasta los 400 días de vida, es un método efectivo para inducir la pubertad precoz (<300 días en vaquillonas para carne) (Gasser, Behlke et al., 2006, Gasser, Bridges et al., 2006). Sin embargo, en nuestros sistemas de producción, las terneras destetadas en forma precoz logran bajas tasas de ganancias que, en las mejores situaciones, igualan a las obtenidas por terneras que permanecen al pie de la madre (Simeone & Beretta, 2002).

3.4.3 Efecto de la fecha de parto sobre el peso al destete y la performance productiva y reproductiva de la ternera

Otra medida de manejo que influye en el peso al destete de los terneros, es la elección de la fecha de entore lo que determinará la fecha de parto. Dentro de un período de parición, para un mismo genotipo e igual manejo, aquellos terneros que nacen temprano, a una fecha fija de destete, presentarán un mayor peso al destete que los terneros que nacen más tarde, simplemente porque tienen más edad, sin considerar la ganancia al pie de su madre (J. Rodríguez, comunicación personal, 2022). Adicionalmente, en un trabajo realizado por Lesmeister et al. (1973), en el que se evaluó el efecto de la fecha de parto de la vaca sobre la producción de por vida en kilogramos de ternero, se observó que terneros nacidos tempranos experimentaban mayores tasas de ganancia que los tardíos, pudiendo estar asociado a que los terneros nacidos temprano presentan una mayor capacidad de consumo de forraje y leche que los terneros nacidos tarde, por lo tanto, alcanzan un mayor peso al destete.

Funston et al. (2012) evaluaron el efecto de la fecha de nacimiento de la ternera sobre su comportamiento productivo y reproductivo. Agruparon las terneras dentro de un mismo período de parición en función de la fecha de nacimiento: período 1 (nacidas dentro de los primeros 21 días), período 2 (nacidas entre el día 22 y el 42) y período tres (nacidas del día 43 en adelante). Encontraron que el peso al destete de las vaquillonas nacidas entre el día 1 y el 21, que eran en promedio 16 y 36 días más viejas que las nacidas en el segundo y tercer período respectivamente, era mayor y éste disminuía conforme avanzaba la fecha de nacimiento (219, 213 y 197 kg). Esta diferencia de peso entre grupos se mantuvo a través del tiempo, de forma que las terneras nacidas en el primer período llegaron al servicio con un mayor peso en relación a las terneras nacidas en los otros períodos (296, 292 y 276 kg) y una mayor proporción de las mismas llegaron ciclando normalmente al comienzo del servicio (70, 58 y 39%). Esto les permitió preñarse temprano de forma que, al año siguiente, un 80% de las vaquillonas (correspondientes al grupo del período 1) parió en los primeros 21 días del período de parición y destetaron terneros con un mayor peso. Similares resultados fueron obtenidos por King et al. (1983).

3.5 ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA EDAD AL PRIMER SERVICIO DE LAS VAQUILLONAS: MANEJO NUTRICIONAL POSTDESTETE

Otro período clave en la fase de recría es el postdestete, donde el plano nutricional determina la edad de las vaquillonas al primer entore (Viñoles & Santa Cruz, 2019). Éste se puede realizar a los 2 o 3 años de edad, o se pueden manejar las vaquillonas para realizar entores anticipados que generalmente se sitúan entre los 15 y 20 meses de edad (Quintans, 2008).

En la medida que aumenta la edad de las vaquillonas al primer servicio, aumenta el número de animales improproductivos dentro del sistema, afectando tanto la productividad del rodeo de cría, así como también del proceso global de producción. Por el contrario, cuando las vaquillonas son entoradas a edades tempranas (por ejemplo, a los 15 meses de edad) aumenta la productividad de las mismas, ya que son más longevas y destetan más quilos de terneros a lo largo de toda su vida productiva, aumentando la eficiencia global del proceso de producción, lo que se refleja en un mejor resultado económico de todo el sistema (Beretta & Simeone, 1998).

La vaquillona debería de alcanzar entre el 65-70% de su peso adulto para comenzar a ciclar (Quintans, 2008). Durante mucho tiempo se recomendaba que las vaquillonas se entoraran a los dos años con un peso en torno a los 280 kg (Pigurina et al., 1998). Sin embargo, trabajos recientes muestran que a pesar de que las vaquillonas alcancen ese quilaje no siempre estaban ciclando. La introducción de genética extranjera podría haber llevado a un aumento en el tamaño corporal de los vientres, por lo tanto, el peso óptimo que deberían alcanzar las vaquillonas al inicio del entore sería mayor (Quintans, 2008). En un trabajo realizado por Quintans et al. (sin publicar, como se cita en Quintans, 2002), sobre terneras cruza (Angus x Hereford) pastoreando un mejoramiento de campo de Trébol blanco y Lotus corniculatus desde julio hasta noviembre, con una disponibilidad de forraje promedio de 3700 kg MS/ha, a una carga de 1,5 terneras/ha, se observó que cuando las terneras alcanzaron un peso de 280 kg solo un 47% de éstas presentaban cuerpo lúteo mientras que aquellas que pesaban más de 300 kg, la mayoría (alrededor de un 70%) había alcanzado la actividad cíclica.

Asimismo, la distribución de la tasa de ganancia de peso en la vaquillona, o sea en qué momento del ciclo éstas ganan o pierden peso, también afecta la ciclicidad ovárica, de forma que, a pesar de que las vaquillonas lleguen al inicio del entore con un peso óptimo, las mismas pueden no encontrarse ciclando. En un trabajo realizado en la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt (Facultad de Agronomía) que abarcó 5 años de evaluación de vaquillonas de sobre año hasta los 25 meses de edad, se observó que un 28% de las mismas se encontraban en anestro al comenzar la inseminación, aún cuando presentaban un peso vivo muy similar al resto, el cual era superior a los 290 kg. La única diferencia entre el grupo de vaquillonas que se encontraban en anestro y las que estaban ciclando, fue que las primeras habían experimentado una leve pérdida de peso durante su primer invierno de aproximadamente 65 g/día mientras que las otras habían ganado peso a razón de 230 g/día para el mismo período (Quintans, 2016).

3.5.1 Recría sobre campo natural

La ganadería de cría en Uruguay se desarrolla básicamente sobre campo natural, encontrándose pequeñas áreas de campo mejoradas, destinadas principalmente al uso estratégico con algunas categorías en determinados momentos del año (Quintans, 2006).

El campo natural uruguayo se caracteriza por presentar una marcada estacionalidad en la producción de forraje, donde el invierno es la estación más crítica del año. Sin embargo, es importante destacar que existen diferencias en la cantidad de forraje producido durante el invierno entre tapices de campo natural. De acuerdo con Ayala et al. (1993), el déficit invernal es más marcado en la zona este del país (sierras y lomadas del este) donde los campos naturales presentan un tapiz compuesto principalmente por especies de ciclo productivo estival, lo que explica que la producción invernal de estos campos sea muy baja, representando aproximadamente un 5% de la producción total anual (Cuadro 3). Algo muy similar sucede con los campos naturales de la región de areniscas de Tacuarembó y Rivera, donde aproximadamente el 80% de la producción anual está concentrada en primavera - verano, y la producción invernal representa en torno a un 6 - 7% de la producción anual de forraje (Bemhaja, 2006). En campos naturales sobre basalto la producción invernal es un poco mayor en relación a otros suelos del país, y representa aproximadamente un 15% de la producción anual de forraje (Berretta & Bemhaja, 1998).

Cuadro 3

Distribución estacional de la producción de forraje de diferentes campos naturales

Región	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Referencia
Basalto (suelo superficial pardo rojizo)	31,4	21,1	15,7	31,7	1
Basalto (suelo superficial pardo negro)	32,1	21,0	14,9	32,0	1
Basalto (suelo profundo)	33,3	21,5	15,1	30,1	1
Suelo de sierras del este (Unidad Sierra de Polanco)	41,5	27,5	5,0	26,0	2
Suelo de areniscas (ladera alta)	49,0	13,0	7,0	31,0	3
Suelo de areniscas (bajo)	44,0	13,0	6,0	37,0	3

Nota. Elaborado a partir de: ¹Berretta y Bemhaja (1998), ²Ayala et al. (1993), ³Bemhaja (2006).

En la mayoría de los predios ganaderos, la recría de machos y hembras es postergada en los programas de alimentación, no siendo considerada prioritaria en relación a otras categorías, debido a que, muchas veces, las necesidades económico-financieras hacen que las categorías de terminación tengan mayor prioridad sobre éstas, conduciendo esto a entorar o faenar animales a edades avanzadas (Brito & Fiol, 2006). El primer y segundo invierno son los momentos más críticos para las categorías de recría (Pigurina et al., 1998) y, según Quintans (2006), cuando éstas son manejadas inadecuadamente sobre campo natural durante el invierno, son las más afectadas, ya que este recurso no presenta la disponibilidad ni la calidad requerida por este tipo de animales.

Durante el invierno, los animales de recría manejados exclusivamente a campo natural experimentan pérdidas de peso en torno a los 100-200 g/día debido a la baja disponibilidad de forraje, así como a la eventual acumulación de forraje seco de bajo valor nutritivo (proveniente del otoño), lo cual puede verse agravado por las condiciones climáticas adversas que presenta esta estación (Echeverría et al., 2014). Según Quintans (2006), terneras manejadas sólo a campo natural pierden entre 10 y 15% de su peso vivo después del destete y durante su primer invierno.

La pérdida de peso invernal no solo genera un retraso en la entrada a la pubertad de las vaquillonas y, por ende, en la edad al primer entore (Short & Bellows, 1971), sino que también puede afectar en forma permanente el desarrollo de estos animales incidiendo en el futuro productivo de los mismos. Dicha pérdida de peso incluso puede comprometer el efecto del crecimiento compensatorio cuando se mejoren las condiciones de alimentación en la primavera (Scaglia, 1996), teniendo en cuenta que el nivel de restricción más adecuado es cuando el animal experimenta ganancias moderadas de peso que oscilan entre 100-200 g/día durante el invierno (Quintans, 2006). Valores similares de ganancia diaria de peso (150-200 g/animal/día) fueron propuestos por Pigurina (1995).

Según Simeone y Beretta (2004), la carga animal es la principal variable de manejo determinante de la productividad y, por lo tanto, del resultado económico. En campos con tapices con buena disponibilidad de especies invernales, que mantienen un buen nivel de proteína y digestibilidad durante el invierno, es posible, a través del ajuste de carga, evitar pérdidas de peso en los animales de recría durante el invierno (Morales Grosskopf & Montes Narbono, 2015). Vaquillonas que llegan con buen peso a inicios del invierno, podrán ser manejadas sobre campo natural, cuidando que la posible pérdida de peso del invierno no sea acentuada e intentando que realicen una buena ganancia pre-entore en la primavera. Sin embargo, aquellas vaquillonas con pesos más bajos en el otoño, deberán ser manejadas de forma preferencial a la hora de asignar recursos, de forma que estos animales ganen peso durante el invierno y puedan así aprovechar el crecimiento de forraje durante la primavera para aumentar la tasa de ganancia (Quintans, 2006). Brito et al. (2005), indican que, en suelos sobre basalto, con disponibilidades de forraje acumulado al inicio del invierno en el orden de 1300 kg MS/ha (aproximadamente 6 cm de altura), y manejando cargas de 0,8 UG/ha, se logran ganancias satisfactorias de entre 150 a 200 g/a/día.

Existen múltiples alternativas para evitar la pérdida de peso invernal de las categorías de recría aprovechando el enorme potencial de crecimiento de esta categoría, entre las que se destaca: diferimiento de campo natural, utilización de mejoramientos extensivos de campo, suplementación estratégica sobre campo natural, pastoreo horario de praderas o verdeos, las que se detallan a continuación.

3.5.2 Campo natural diferido

Dado que la producción invernal del campo natural uruguayo es muy baja, para disponer de forraje durante el invierno es imprescindible el cierre de potreros a inicios del otoño, con el objetivo de acumular forraje en pie para posteriormente ser aprovechado en el invierno.

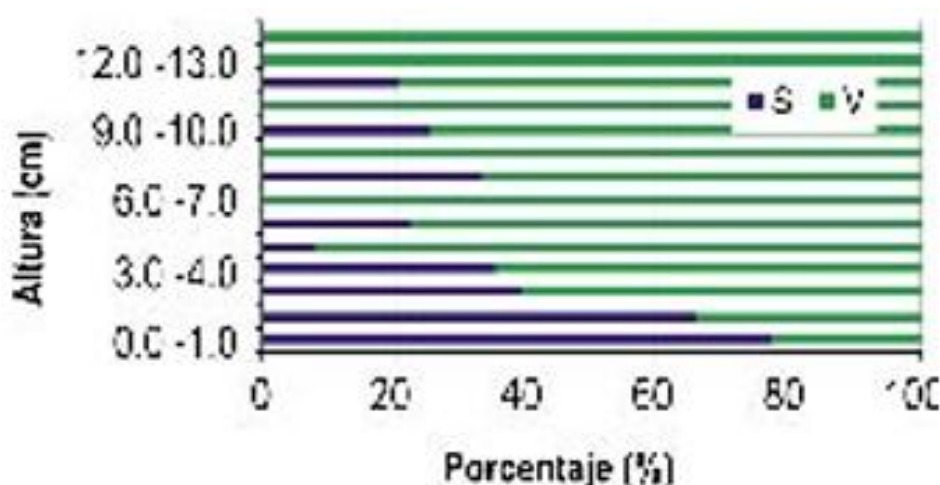
Según Montossi y Soares de Lima (2020) el objetivo de cerrar potreros durante el otoño, debería ser el de llegar a inicios del invierno con una acumulación de forraje en torno a 1500-2000 kg MS/ha, lo que equivale a una altura promedio entre 7-10 cm, con una proporción de restos secos inferior al 50%. Para lograr esto, será necesario el cierre de potreros por un período de 60-90 días según el tipo de campo y las condiciones climáticas del período.

Si bien a medida que aumenta la disponibilidad de forraje aumenta el consumo por parte de los animales, la acumulación de grandes volúmenes de forraje a inicios del invierno, trae aparejado la pérdida de calidad del mismo, debido a la alta proporción de forraje seco producto de la senescencia y heladas (Echeverría et al., 2014).

En base a información generada por Montossi et al. (2000), cuando una pastura presenta aproximadamente 1000 kg MS/ha posee una mayor proporción general y por estratos de material verde (Figura 8), en relación a una pastura que tiene una masa mayor a 2000 kg MS/ha (Figura 9). A su vez, los restos secos se concentran en los estratos más bajos de la pastura mientras que cuando la disponibilidad de forraje supera los 2000 kg MS/ha, los restos secos se distribuyen en todo el perfil vertical de la pastura.

Figura 8

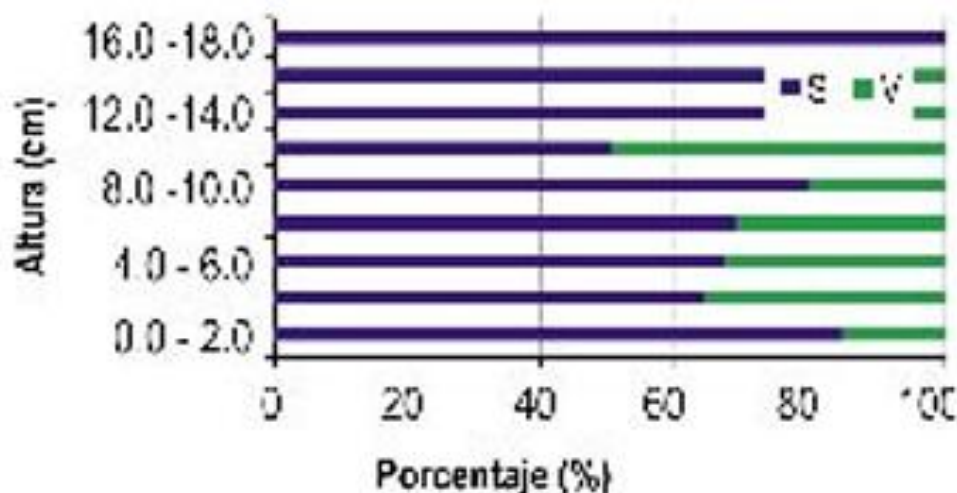
Estructura del perfil de un campo natural de Basalto con 900 kg de MS disponible/ha



Nota. S: restos secos, V: fracción verde. Tomado de Montossi et al. (2010).

Figura 9

Estructura del perfil de un campo natural de Basalto con 2000 kg de MS disponible/ha



Nota. S: restos secos, V: fracción verde. Tomado de Montossi et al. (2010).

Conforme aumenta la cantidad de forraje disponible, disminuye la digestibilidad de la materia orgánica (relación cuadrática) y el contenido de proteína (relación lineal), y se incrementa la proporción de material muerto de la pastura. Si bien los animales, los ovinos con mayor habilidad que el vacuno, tienen la capacidad de seleccionar una dieta de mejor valor nutritivo en relación a la dieta ofrecida, cuando se dan condiciones de alta disponibilidad de forraje (más de 2000 kgMS/ha) con alta proporción de restos secos esto se ve comprometido, por lo que es probable que la productividad animal se resienta asociado a que también se genera una reducción en el consumo voluntario de los animales (Montossi et al., 2000).

Según Montossi et al. (2010), cuando las pasturas contienen más de un 70% de material muerto, la dificultad para cosechar los componentes verdes de la misma es uno de los principales factores que influyen en el menor consumo por parte de los animales, y principalmente en los bovinos asociado a su menor capacidad de selección en comparación con los ovinos. Esta situación, determina condiciones restrictivas a los animales, particularmente en las categorías jóvenes, que requieren de mayores niveles de energía (3 Mcal/kg MS de energía metabolizable) y proteína (13-15% PC) para satisfacer sus requerimientos de mantenimiento y crecimiento.

Una posible alternativa tecnológica para favorecer una adecuada recría durante el invierno (ganancias moderadas de peso) utilizando como recurso forrajero el campo natural diferido, es el uso de la suplementación proteica y energética (Echeverría et al., 2014; Montossi et al., 2010). En potreros con alta acumulación de forraje (más de 2500 kg MS/ha) de baja calidad, donde los restos secos representan más del 60-70% de forraje total y donde es posible que el nivel de proteína no supere el 7%, se puede optar por suministrar un suplemento proteico como por ejemplo bloques proteicos o expeller de girasol a razón del 0,5% PV, con el objetivo de mejorar la utilización de la pastura y evitar así la pérdida de peso de los animales. En cambio, en potreros con disponibilidad media, se puede utilizar

un suplemento energético-proteico (afrechillo de arroz a razón de 0,7-1,0% PV), que permita obtener ganancias moderadas de peso (200-400 g/día), inclusive favoreciendo una mejor utilización del forraje (Echeverría et al., 2014).

Según Montossi y Soares de Lima (2020), es posible lograr tasas de ganancia de peso diarias con terneros en el rango de 150-500 g/día a través del uso de campo natural diferido del otoño al invierno. Berretta et al. (1996, como se cita en Pigurina et al., 1998), reportaron para suelos de Basalto que a partir de la acumulación de 1300 kg MS/ha al inicio del invierno y el uso de cargas entre 1,8 a 2,7 terneros/ha o 1,2 a 1,8 animales de sobreaños/ha, se obtienen ganancias de 200 g/día en años normales.

Montossi y Soares de Lima (2020) realizaron un trabajo sobre campo natural diferido de Basalto (2700-3400 kg MS/ha; 12-15 cm; restos secos 60-65%; PC 6-7%), en pastoreo continuo, en el que se utilizaron terneros de la raza Hereford, con un peso inicial de 158 kg. El período de evaluación fue desde mayo a octubre, y se manejó una carga de 2,3 terneros/ha. Se utilizaron cuatro suplementos contrastantes (grano de maíz entero, afrechillo de arroz sin desgrasar, expeller de girasol y expeller de soja), suministrados a una asignación de 0,8% PV. Cuando los terneros pastorearon únicamente campo natural diferido, experimentaron ganancias cercanas a mantenimiento, atribuibles a la baja calidad de la pastura. Cuando fueron suplementados, los terneros experimentaron ganancias de peso en el en torno a 140, 290, 380 y 450 g/día cuando el suplemento fue grano de maíz, afrechillo de arroz, expeller de girasol y expeller de soja respectivamente, superando ampliamente (170-480%) a los terneros que pastorearon campo natural. La eficiencia de conversión del suplemento varió entre 3,4-7,7 kg MS/kg PV adicional.

3.5.3 Utilización de mejoramientos extensivos de campo

Los mejoramientos extensivos de campo constituyen una tecnología apropiada para muchas regiones del país, permitiendo contar con un área mejorada dentro del predio (Quintans, 2006). El objetivo de esta tecnología consiste en incrementar la producción de forraje (Cuadro 4) y mejorar la calidad del campo natural (Cuadro 5) a través de la introducción de especies complementarias al mismo, sin eliminar el tapiz campo natural (Carámbula, 1996).

Las especies a introducir pueden ser leguminosas o gramíneas. Dentro de las primeras, las de mayor importancia en lo que respecta a su utilización en mejoramientos de campo, pertenecen al género *Lotus* (*Lotus corniculatus*, *Lotus pedunculatus*, *Lotus tenuis*, *Lotus subbiflorus*, *Lotus angustissimus*), *Trifolium* (*Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Trifolium subterraneum*) y *Ornithopus* (*Ornithopus compressus*). Dentro de las gramíneas, se destacan *Holcus lanatus*, *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* y *Bromus auleticus*.

Cuadro 4

Producción estacional y anual del campo natural y de un mejoramiento extensivo de campo

	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Total anual (kg MS/ha/año)
Campo natural	1006	838	1201	1509	4554
Campo mejorado	1258	1769	1874	2141	7042

Nota. Producción de forraje estacional de campo natural y de mejoramiento extensivo, promedio de 10 años consecutivos (1979-1988) sobre suelo profundo de Basalto. Adaptado de Bemhaja (1996).

Cuadro 5

Valor nutritivo del forraje de mejoramientos con distintas leguminosas y del campo natural sobre Cristalino

	Digestibilidad in vitro de la materia orgánica (%)	Proteína cruda (%)
Campo natural	50,5	8,6
Trébol blanco cv. Zapicán	62,2	14,1
Lotus cv. Ganador	59,1	16,8
Lotus cv. El Rincón	57,4	14,5
Lotus cv. Maku	56,0	17,0

Nota. Datos promedio anuales. Adaptado de Risso y Berretta (1996).

Soca et al. (2001) realizaron un trabajo con terneras (193 kg) en un mejoramiento de campo con Lotus subbiflorus (cv. El Rincón), desde julio a octubre (90 días), en el que evaluó el efecto de la asignación de forraje sobre la producción individual y por hectárea. Utilizó 4 asignaciones de forraje: 6, 12, 17 y 22% PV. Encontró que a medida que aumentaba la asignación de forraje se producía un incremento en la ganancia diaria, pasando de 170 g/a/día (6% PV de asignación de forraje) a 550-580 g/a/día (17 y 22% PV

de asignación de forraje) (Cuadro 6). Sin embargo, conforme aumentaba la oferta de forraje la producción por unidad de superficie disminuía (68 a 44 kg/ha), asociado a una reducción en la carga animal (2,5 a 0,62 UG/ha). La mayor producción por hectárea se alcanzó con asignaciones de forraje entre 6 y 12% PV.

Cuadro 6

Producción individual y por hectárea de terneras pastoreando Lotus subbiflorus a diferentes ofertas de forraje

Oferta de forraje (%PV)	Ganancia diaria (kg/animal) ¹	Carga (Nro. Animales/ha)	Producción individual (kg/animal)	Producción/ha (kg/ha)
6	0,17 a	2,5	27	68
12	0,47 b	1,25	55	68
17	0,55 c	0,82	61	49
22	0,58 c	0,62	72	44

Nota. Efecto de la oferta de forraje sobre ganancia de peso, carga animal y producción individual y por hectárea de terneras pastoreando un mejoramiento de Lotus cv. El Rincón. ¹Promedio de mínimos cuadrados ajustados de ganancia diaria de peso vivo. Letras diferentes dentro de la columna difieren significativamente con $P < 0,005$. Tomado de Soca et al. (2001).

Berretta et al. (1996) estudiaron la ganancia de peso vivo de terneras (138 kg) y vaquillonas (208 kg) durante tres inviernos pastoreando sobre campo natural mejorado con Lotus corniculatus y Trébol blanco, durante el invierno (1/06 al 15/09) utilizando 3 cargas: 0,98, 1,49 y 2,00 UG/ha. En el siguiente cuadro (Cuadro 7) se presentan los resultados.

Cuadro 7

Ganancia diaria de peso de terneras y vaquillonas pastoreando durante el invierno mejoramiento de campo

Carga (UG/ha)	Disponibilidad de forraje (kg MS/ha)	Ganancia diaria de peso vivo (kg/animal/día)					
		Terneras			Vaquillonas		
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3
0,98	1182 – 2548	0,240	0,389	0,700	0,484	0,539	1,350
1,49	1172 – 2171	0,097	0,383	0,300	0,323	0,655	0,750
2,00	1127 - 2320	0,000	-0,070	0,200	0,115	0,165	0,526

Nota. Adaptado de Berreta et al. (1996).

Estudios realizados en INIA Tacuarembó demostraron que con el diferimiento otoñal de mejoramientos de campo y el ajuste de la carga a 1.5 UG/ha, se logra una recría eficiente para terneras y vaquillonas de sobreño, con ganancias de 200 g/a/día en el período invernal (Pigurina et al., 1998).

Parodi et al. (2004) evaluaron el efecto de la asignación de forraje sobre la performance de terneras pastoreando campo natural mejorado con Lotus Maku durante otoño e invierno. Para ello, utilizaron cuatro asignaciones de forraje que variaron entre 2,8 a 12,7% del peso vivo. Estos autores hallaron que, conforme se incrementaba la oferta de forraje la performance individual mejoraba, pasando de ganancias de 147 a 430 g/a/día. Sin embargo, al incrementarse la asignación de forraje se produjo una reducción en la producción por hectárea, pasando de 232 a 142 kg PV/ha.

3.5.4 Suplementación invernal de la recría sobre campo natural

La suplementación de las terneras durante el invierno constituye una herramienta de fundamental importancia en la mejora de la eficiencia del proceso de recría y de todo el ciclo en su conjunto (Luzardo et al., 2012). La recría es la etapa en la que los animales son más eficientes en términos de cantidad de alimento requerido para que el animal gane peso. Esto se debe a que los animales de recría, en relación a animales más adultos, presentan menores requerimientos de mantenimiento y además porque por cada unidad de peso ganado los animales de recría depositan mayor proporción de tejido muscular, tejido que presenta una menor exigencia energética en relación al tejido adiposo (Baldi et al., 2008; Pordomingo, 2003). Esto constituye una práctica económicamente viable en un amplio rango de precios de suplemento y del ternero (Beretta et al., 2010).

Quintans et al. (1993) realizaron un trabajo en el que se evaluó el efecto de diferentes niveles de suplementación (sin suplementación, 0,35, 0,70 y 1,00% PV) con afrechillo de arroz sobre el comportamiento de terneras Hereford pastoreando campo natural en invierno. Las terneras fueron destetadas con un peso promedio de 168 kg; se les realizó un periodo de acostumbramiento a la suplementación (30 días) previo al inicio del experimento (1 de julio). Se utilizó una carga de 0,85 UG/ha. Se midió el consumo de suplemento en forma individual para estimar el rechazo del mismo, y se observó que animales suplementados al 0,7 y 1% PV prácticamente presentaban el mismo consumo de suplemento, debido a que animales suplementados al 1% PV presentaron un nivel elevado de rechazo del suplemento (30% aproximadamente). En cambio, cuando fueron suplementadas al 0,35% PV prácticamente no existió rechazo. En cuanto a la evolución del peso vivo durante el período experimental (90 días), terneras que no fueron suplementadas sufrieron una pérdida de peso a razón de 100 g/día, mientras que las terneras suplementadas al 0,35, 0,7 y 1% PV ganaron 67, 200 y 222 g/día respectivamente, no existiendo diferencias significativas entre los animales suplementados al 0,7 y 1% PV. Al finalizar el ensayo, las terneras suplementadas al 0,7 y 1% PV eran casi 30 kg más pesadas que las terneras que no se suplementaron y esta diferencia de peso se mantuvo a lo largo de todo el período posterior al experimento a pesar de que todas las terneras se manejaron conjuntamente sobre campo natural una vez finalizado el trabajo, no existiendo diferencias significativas en cuanto a las ganancias de peso en este último periodo.

Quintans y Vaz Martins (1994) evaluaron diferentes fuentes de alimentos suministrados a terneras de destete (167 kg) pastoreando campo natural durante el invierno. Se utilizó como suplemento energético el grano de sorgo molido, como proteico el expeller de girasol y como energético-proteico el afrechillo de arroz crudo. Existió un grupo testigo al que no se le ofreció suplemento. La cantidad de suplemento suministrado fue calculado en función de la energía, de forma de que el aporte de energía metabolizable fuera igual en todos los tratamientos que involucraran la suplementación. Se tomó como base el 0,7% PV en afrechillo de arroz. El período de acostumbramiento duró 25 días, y el experimental se extendió desde el 21 de julio hasta el 21 de octubre. Se midió el consumo individual durante todo el experimento. El potrero donde pastoreaban las terneras se trataba de un campo natural restablecido, con un tapiz netamente estival, y una disponibilidad de forraje al inicio del experimento de casi 2500 kg MS/ha, con aproximadamente un 80% de restos secos. El tratamiento que involucró al grano de sorgo puro presentó problemas de rechazo, por lo que se decidió mezclarlo con afrechillo de arroz en una relación de 3 a 1. En relación a los resultados, no existieron diferencias en ganancia diaria entre terneras que consumieron 600 y 800 g/día de expeller de girasol y afrechillo de arroz respectivamente, ganando en torno a 200 g/a/día, lo que les permitió salir del invierno con aproximadamente 20 kg más de peso vivo. En cambio, aquellas que fueron alimentadas únicamente a campo natural, presentaron una pérdida de peso a razón de 50 g/a/día. El tratamiento de grano de sorgo, mostró un comportamiento intermedio, en el que las terneras experimentaron una ganancia de peso en torno a 100 g/a/día.

Existen múltiples trabajos que han sido consistentes en demostrar que es posible alcanzar tasas de ganancia en torno a 100-200 g/día en terneros y terneras que pastorean campo natural cuando son suplementados con un concentrado energético-proteico a razón de 0,7 a 1% PV durante el invierno (Cuadro 8).

Cuadro 8

Tasa de ganancia diaria de terneras durante su primer invierno bajo distintos regímenes alimenticios

Categoría animal	PD (kg)	DMS (kg MS/ha)	Carga (UG/ha)	NS (%PV)	Suplemento	GMD (kg/a/d)	Ref.
Terneras	168	1500	0,85	0,00	T	-0,100	1
				0,35	AA	0,067	
				0,70	AA	0,193	
				1,00	AA	0,219	
Terneras	167	2800	1,30	0,00	T	-0,052	2
				0,70	SM	0,100	
				0,70	EG	0,200	
				0,70	AA	0,200	
Terneras	137	2000	0,70	0,00	T	-0,082	3
				0,35	AA	0,037	
				1,50	AA	0,230	
Terneras	160	1364	0,83	0,00	T	-0,225	4
		1490		1,00	AA	0,303	
		1438		1,00	RC	0,324	

Nota. PD: peso al destete (kg), DMS: disponibilidad de materia seca de campo natural, NS (%PV): nivel de suplementación, GMD: ganancia media diaria de peso vivo expresada en kg/animal/día, Ref.: referencia bibliográfica, T: testigo sin suplementación, AA: afrechillo de arroz, SM: sorgo molido, EG: expeller de girasol, RC: ración comercial. Elaborado a partir de: ¹Quintans et al. (1993), ²Quintans y Vaz Martins (1994), ³Quintans (1994), ⁴Campos et al. (2002).

Considerando que cuando los terneros y terneras pastorean exclusivamente campo natural durante su primer invierno de vida experimentan pérdidas de peso en torno a 150-200 g/día, los valores de eficiencia de conversión del suplemento se ubican entre 3 a 4 kg de concentrado/kg de pesos vivo adicional (Beretta & Simeone, 2008).

En el caso de las vaquillonas, éstas también experimentan una pérdida de peso cuando pastorean exclusivamente campo natural durante su segundo invierno de vida, la cual se sitúa en torno a los 100-200 g/día (Cuadro 9).

Cuadro 9

Tasa de ganancia diaria de vaquillonas durante su segundo invierno bajo distintos regímenes alimenticios

Categoría animal	PV (kg)	DMS (kg MS/ha)	Carga (UG/ha)	NS (%PV)	Suplemento	GMD (kg/a/d)	Ref.
Vaquillonas de sobreaño	200	1800	0,80	0,00	T	-0,088	1
				1,50	AA	0,226	
Vaquillonas de sobreaño	250	2900	1,1	0,00	T	-0,205	2
	245			0,00	Si – No	-0,253	
	270			0,70 - 1,00	Si – Si	0,161	
	270			0,70 - 1,00	No – Si	0,178	

Nota. PV: peso vivo (kg), DMS: disponibilidad inicial de campo natural (kgMS/ha), NS (%PV): nivel de suplementación, GMD: ganancia media diaria (kg/animal/día), T: testigo animales que no se suplementaron ni en el primer ni en el segundo invierno de vida, AA: afrechillo de arroz, Si – No: animales que sólo se suplementaron en el primer invierno, Si – Si: animales que se suplementaron en los dos inviernos de vida, No – Si: animales que sólo se suplementaron en el segundo invierno de vida, Ref.: referencias bibliográficas. Elaborado a partir de: ¹Quintans (1994), ²Quintans et al. (1994).

Quintans (1994) evaluó el efecto de la suplementación con afrechillo de arroz desgrasado sobre la ganancia de peso de vaquillonas que pastoreaban campo natural. Las vaquillonas fueron suplementadas a razón del 1,5% PV durante su segundo invierno de vida, habiendo permanecido a campo natural durante su primer invierno sin suplementación. Se utilizó una carga de 0,8 UG/ha. Las vaquillonas suplementadas durante el período experimental ganaron peso a razón de 226 g/día mientras que las vaquillonas que no se suplementaron perdieron peso, 88 g/día, de forma que al finalizar el experimento existía una diferencia de 27 kg en el peso (221 vs 194 kg).

Quintans et al. (1994), evaluaron el efecto de suplementar o no en el primer (1992) y segundo invierno (1993), sobre la evolución de peso de las terneras-vaquillonas, entre el destete y el entore. Los resultados de la suplementación durante el primer invierno de vida de las terneras fueron mencionados anteriormente (Quintans et al., 1993). Para la suplementación en el invierno de 1993, se utilizó el mismo lote de terneras que se habían evaluado en el invierno anterior. Los tratamientos consistieron en: suplementación en los dos inviernos, suplementación sólo en el primer invierno, suplementación sólo en el segundo invierno y animales que nunca se suplementaron (testigo). Se utilizó afrechillo de arroz, el cual se ofreció a razón de 0,7% durante los dos primeros meses del experimento (junio-julio) y posteriormente, debido a que las vaquillonas no estaban realizando las ganancias esperadas y a que tampoco existía rechazo del suplemento, se aumentó la asignación a 1% PV hasta el final del período experimental. Las vaquillonas que fueron suplementadas durante su primer invierno pesaban casi 30 kg más en relación a las vaquillonas que no había sido suplementadas (267 vs 242 kg). Las vaquillonas que fueron suplementadas en los dos inviernos, fueron las que alcanzaron el mayor peso al finalizar el invierno (285 kg), experimentando ganancias en promedio de 161 g/día. Los animales que no fueron suplementados en su primer invierno, pero sí en el segundo, manifestaron un

comportamiento muy aceptable, recuperándose en forma importante, alcanzando ganancias de peso 178 g/día, logrando un peso promedio de 262 kg al finalizar el invierno. El grupo de vaquillonas que fueron suplementadas en su primer invierno, pero no en el segundo, presentaron una caída importante en el peso, a razón de 253 g/día, alcanzando los 240 kg al final del período experimental. El grupo que permaneció los dos inviernos a campo natural, perdió peso en ambos inviernos, a razón de 205 g/día, y presentaron un desarrollo marcadamente menor que el resto, alcanzando un peso de 220 kg al final del invierno.

3.5.5 Uso de pasturas sembradas y verdeos durante el invierno con o sin suplementación

Otra alternativa a la suplementación tradicional con productos agrícolas o sub productos de la industria molinera, es el uso estratégico de las pasturas mejoradas, ya sean ésta verdeos o praderas perennes (Pigurina, 1994). Simeone y Beretta (2004) manifiestan que terneros Hereford de 160 kg, pastoreando praderas mezclas de gramíneas y leguminosas durante su primer invierno de vida, con una disponibilidad inicial por encima de los 2000 kg MS/ha, presentan una ganancia media diaria de aproximadamente 270 g/día cuando son manejados a una asignación de forraje del 2,5% PV y cuando se manejan al 5% PV ganan en torno a 450 g/día. Cuando se suplementan al 1% PV con grano de sorgo entero, los terneros manejados al 2,5% PV de asignación de forraje pasan a ganar 520 g/día (+249 g/día), con una eficiencia de conversión del suplemento 7:1. Los terneros manejados al 5% PV de asignación del forraje, muestran una similar respuesta a la suplementación (+234 g/día), pasando a ganar aproximadamente 700 g/día, con una eficiencia de conversión en torno a 8:1 (Cuadro 10).

Cuadro 10

Efecto de la asignación de forraje y la suplementación sobre la ganancia de terneros Hereford

Asignación de forraje (kgMS/100kgPV)	Ganancia diaria de peso (kg/día)		Respuesta a la suplementación (kg/día)	EC (kg supl/kg PV)
	Sin suplementación	Suplementación 1%PV		
2,5	0,272 bB	0,521 bA	0,249	7:1
5,0	0,457 aB	0,691 aA	0,234	8:1

Nota. Terneros Hereford de 160 kg pastoreando una pradera mezcla de gramíneas y leguminosas en invierno. a, b: medidas seguidas de diferente letra en la columna difieren $P < 0,05$. A, B: medidas seguidas de diferente letra en la fila difieren $P < 0,05$. EC: eficiencia de conversión del suplemento expresada como los kilogramos de suplemento que son necesarios para que el animal gane un kilogramo de peso vivo. Tomado de Simeone y Beretta (2004).

Beretta et al. (2013) observaron que terneros de 154 kg PV pastoreando un verdeo de Raigrás al 2,5% PV durante el invierno, con una disponibilidad en torno a 1650 kg MS/ha, cuando fueron suplementados al 1% PV con grano entero de maíz pasaron de ganar 540 g/día a 779 g/día, con una eficiencia de conversión del suplemento en torno a 7:1.

En el caso de terneras de reposición que serán recriadas a campo natural, ganancias moderadas de peso vivo (100-200 g/día) durante el invierno, permiten aprovechar el excelente potencial de crecimiento de estos animales y no comprometen el fenómeno de crecimiento compensatorio de primavera (Pigurina, 1995). Teniendo en cuenta esto, y con el objetivo de aprovechar al máximo los verdes o las pasturas sembradas, se realizaron una serie de ensayos en los que se trabajó sobre el pastoreo horario de dichos recursos.

Pigurina (1994) evaluó el uso del pastoreo horario de Avena como suplemento invernal de terneras de destete, con un peso de aproximadamente 100 kg al inicio del ensayo. Los tratamientos fueron: testigo (pastoreaban únicamente campo natural), suplementados (pastoreaban campo natural y se les suministraba 1 kg/día de suplemento 18%PC), pastoreo de Avena 1, 2, 3, o 24 horas por día. Las terneras pastoreaban campo natural a una carga de 1,6 terneras/ha, con una disponibilidad inicial de 754 kg MS/ha. La oferta de materia seca de Avena fue de 3% PV, igual para todos los tratamientos que involucran el pastoreo de Avena. La disponibilidad inicial de la Avena fue superior a los 1800 kg MS/ha, correspondiente a una altura aproximada mayor a los 25 cm. El grupo testigo experimentó una leve pérdida de peso (-0,025 kg/día), mientras que en los restantes tratamientos se registraron ganancias de peso. Las mayores ganancias de peso se lograron con el pastoreo de Avena de 24 horas/día (527 g/día), seguido del pastoreo de 3 horas/día (340 g/día). No existió diferencias en cuanto a la ganancia de peso entre terneras suplementadas pastoreando campo natural y terneras pastoreando Avena por 1 o 2 horas/día, 227, 235 y 208 g/día respectivamente.

Pigurina (1995) estudió el efecto del pastoreo horario (1, 2 o 3 horas/día) como suplemento invernal de terneras de destete, manejando diferentes asignaciones de forraje (1,5 y 3% PV). Se utilizó un grupo de terneras Hereford, de 150 kg al inicio del experimento. Cuando no se encontraban en el verdeo, las mismas pastoreaban campo natural a una carga de 1,6 terneras/ha con una disponibilidad al inicio del ensayo en torno a 700 kg MS/ha. La disponibilidad de Avena al inicio del ensayo fue superior a los 2600 kg MS/ha, con una altura aproximada superior a los 28 cm. El grupo de terneras que pastoreaban únicamente campo natural mantuvo peso durante todo el período experimental, mientras que los restantes grupos ganaron peso, entre 195 y 270 g/día, no existiendo un efecto importante del nivel de oferta de forraje en las horas de pastoreo. Con el pastoreo de Avena durante 1 hora/día se lograron ganancias de peso en el orden de los 200 g/día en terneras de destete.

Scaglia et al. (1997, como se cita en Quintans et al., 1999), evaluaron diferentes combinaciones de número de horas por día de pastoreo, número de días por semana de pastoreo y presión de pastoreo, en una pradera mezcla (Festuca, Trébol blanco, Lotus corniculatus y Raigrás). Las terneras pastoreaban campo natural, con una disponibilidad de 840 kg MS/ha al inicio del ensayo, a una carga de 1,6 UG/ha. Las ganancias obtenidas estuvieron entre 25 – 55 g/a/día, cuando las terneras pastorearon 5 días por semana entre 2 y 3 horas por día. Estos resultados se atribuyeron a la elevada carga animal utilizada y a la baja disponibilidad del campo natural.

3.6 HIPÓTESIS

La oferta de forraje a la que se manejaron las madres de las vaquillonas durante el pre y postparto tendría un efecto significativo sobre el peso vivo de sus hijas hasta los 26 meses de edad, pero no sobre el peso al nacer. Así, las vaquillonas hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje alcanzarían un peso vivo superior en comparación con las hijas de vacas manejadas a baja oferta.

El grupo genético de las madres de las vaquillonas influiría significativamente sobre el peso vivo de sus hijas, de modo que las vaquillonas hijas de vacas cruzas presentarían un peso vivo superior al de las hijas de vacas puras, hasta los 26 meses de edad. Sin embargo, el peso al nacer de las vaquillonas no vería afectado por el grupo genético de sus madres.

Es esperable que los modelos de de regresión no lineal sean los que mejor se ajusten a los datos y, por lo tanto, mejor describan el crecimiento que experimentan las vaquillonas desde el nacimiento hasta los 26 meses de edad.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO Y DE LA BASE DE DATOS

Para la realización de este trabajo, se utilizó una base de datos compuesta por registros históricos de peso vivo de vaquillonas hijas de vacas multíparas, que formaron parte de un experimento llevado a cabo en la Estación Experimental Profesor Bernardo Rosengurtt (EEBR) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. Esta estación se encuentra ubicada en el departamento de Cerro Largo, en la localidad de Bañados de Medina, más precisamente, en el kilómetro 408 de la Ruta 26 (tramo Melo-Tacuarembó). El experimento se inició en diciembre del 2007 con el objetivo de evaluar el efecto de la modificación de la oferta de forraje de campo natural sobre la performance productiva y reproductiva de vacas de cría de diversos grupos genéticos, así como la capacidad de carga del campo natural (Do Carmo et al., 2013). Para ello, se utilizó un diseño factorial que contempló dos niveles de oferta de forraje: alta (5 kg MS/kg PV) y baja oferta (3 kg MS/kg PV); y dos grupos genéticos de vacas: puras (Hereford y Aberdeen Angus) y cruza (F1: cruza recíprocas de Aberdeen Angus y Hereford). De este modo, se establecieron cuatro tratamientos (Alta Cruza, Alta Pura, Baja Cruza y Baja Pura), resultantes de la combinación entre los niveles de los dos factores mencionados anteriormente. Los niveles de oferta de forraje de 5 y 3 kg MS/kg PV corresponden a la oferta de forraje promedio anual, existiendo variación estacional en los niveles de oferta de forraje a los que fueron manejados estos animales. En el Cuadro 11, se presenta la distribución estacional de la oferta de forraje para cada nivel, así como el estado fisiológico de las vacas de cría en cada estación del año.

Cuadro 11

Distribución estacional de la oferta de forraje (kg MS/kg PV)

OFERTA DE FORRAJE	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO
ALTA	5	3	4	4
BAJA	3	3	2,5	2,5
Estado fisiológico de las vacas	2/3 de gestación	3/3 de gestación	Lactancia	Lactancia

Nota. Adaptado de Do Carmo et al. (2013).

La base de datos utilizada en este trabajo está compuesta por un total de 2373 registros de peso vivo, correspondientes a 182 vaquillonas, hijas de las vacas que manejadas en el experimento presentado anteriormente. Estas vaquillonas nacieron entre los años 2007 y 2014 (ver Anexo A), siendo la fecha promedio de nacimiento el 22 de

octubre $\pm$ 21 días. En el Cuadro 12, se presenta la cantidad de vaquillonas y el número de registros de peso vivo de éstas, en función del tratamiento que recibieron por sus madres durante la gestación y lactancia, resultado de la combinación entre el nivel de oferta de forraje y su grupo genético.

Cuadro 12

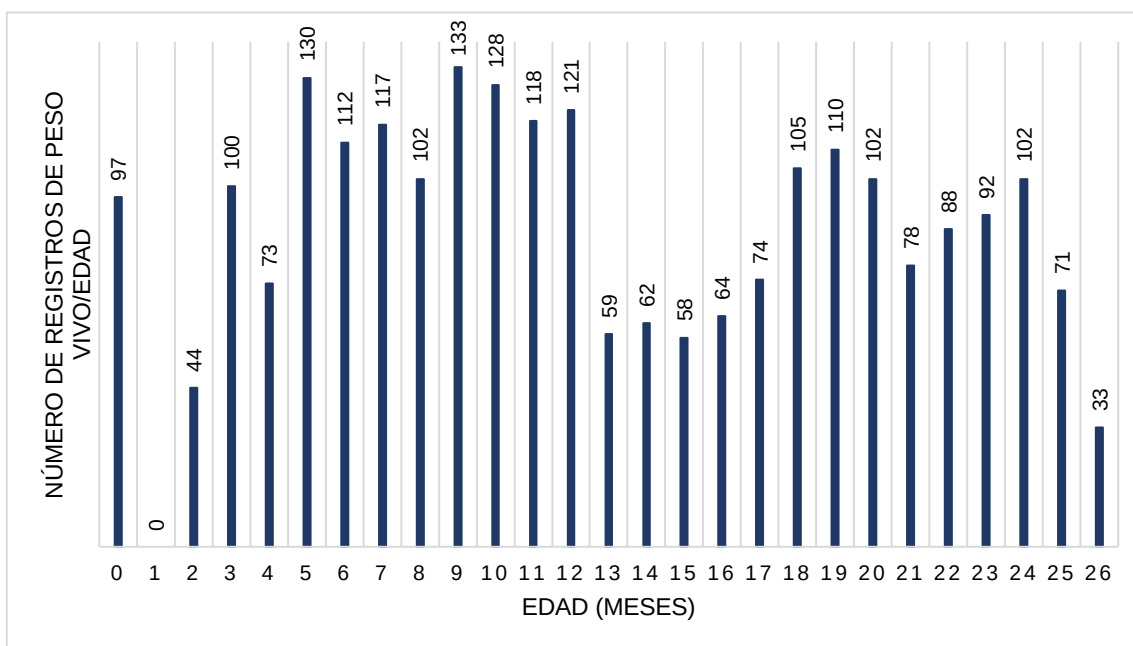
Número de vaquillonas y registros de peso vivo según el tratamiento asignado a sus madres

Tratamiento asignado a la madre de la vaquillona	Número de vaquillonas	Número de registros de peso vivo
Alta Cruza	25	302
Alta Pura	69	998
Baja Cruza	30	318
Baja Pura	58	755
Total	182	2373

Los registros de peso vivo fueron recopilados para edades comprendidas entre 0 y 26 meses, y cada animal cuenta con una media de 13 registros, siendo el máximo de 24 y el mínimo de 1 registro. En la Figura 10 se presenta la frecuencia relativa del número de registros de peso vivo en función de la edad de los animales.

Figura 10

Frecuencia relativa de los registros de peso en función de la edad de las vaquillonas



Para la mayoría de los años considerados, a excepción del 2007 y 2008, las terneras se destetaron a los 6 meses de edad, en los meses de marzo-abril. En el caso de las terneras nacidas en los años 2007 y 2008, el destete definitivo se realizó cuando éstas tenían 4 meses de edad. Una vez destetadas, las terneras se manejaron en un solo grupo pastoreando principalmente campo natural, y fueron sometidas al manejo nutricional y sanitario empleado en la EEER.

4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó utilizando el software R (versión 4.3.2). En primer lugar, se estableció un modelo mixto que incluyó al peso vivo de las vaquillonas como la variable dependiente, y como efectos fijos, se consideraron a la oferta de forraje a la cual se manejaron las madres durante el pre y postparto, al grupo genético de éstas, la edad de las vaquillonas expresada en meses y las interacciones (dobles y triples) entre los factores antes mencionados. Asimismo, se consideró como efecto fijo al genotipo de las vaquillonas. En cuanto a efectos aleatorios, se incluyeron a las vaquillonas y el año de su nacimiento. A partir de este modelo, se llevó a cabo un análisis de varianza para identificar los factores que tuvieron un efecto significativo sobre la evolución de peso de las vaquillonas desde el nacimiento hasta los dos años de edad. Los factores que no resultaron significativos ($p > 0.05$) fueron eliminados del modelo, y se realizó un nuevo análisis de varianza considerando únicamente aquellos que sí lo fueron.

A continuación, se presenta el modelo mixto que se conformó considerando únicamente los efectos que resultaron significativos, según lo mencionado en el párrafo anterior.

$$Y_{ijklm} = \mu + O_i + G_j + E_k + (OE)_{ik} + (GE)_{jk} + A_l + N_m + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde los componentes del modelo son:

- Y_{ijklm} : variable de respuesta (peso vivo).
- μ : media general.
- O_i : Efecto relativo del i-ésimo nivel del factor oferta de forraje a la que se manejó la madre de la vaquillona durante el pre y postparto.
- G_j : Efecto relativo del j-ésimo nivel del factor grupo genético de la madre de la vaquillona.
- E_k : Efecto relativo del k-ésimo nivel del factor edad en meses de la vaquillona.
- $(OE)_{ik}$: Efecto relativo de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor oferta de forraje y el k-ésimo nivel del factor edad en meses.
- $(GE)_{jk}$: Efecto relativo de la interacción entre el j-ésimo nivel del factor grupo genético de las madres de las vaquillonas y el k-ésimo nivel del factor edad en meses.
- A_l : Efecto aleatorio del animal "l".
- N_m : Efecto aleatorio del año de nacimiento "m".
- ε_{ijklm} : Error experimental residual.

A partir de los datos de peso vivo ajustados por los efectos incluidos en el modelo presentado anteriormente, se elaboraron dos gráficos que representan la evolución de peso vivo de las vaquillonas en función de su edad en base a las medias y error estándar estimados.

Considerando los factores incluidos como efectos fijos en el modelo que efectivamente mostraron tener un impacto significativo sobre la variable de interés, se realizó la prueba de Tukey para analizar cada uno de estos factores, estableciendo como diferentes las medias con un valor de $p < 0.05$.

Para modelar el crecimiento de las vaquillonas entre 0 y 26 meses de edad, se incorporaron a la base de datos 28 vaquillonas nacidas entre 2015 y 2017. Para estos animales, no se contaba con información precisa sobre el nivel de oferta de forraje al que habían sido manejadas sus madres durante el pre y postparto. Se formuló un modelo mixto en el cual se consideró como la variable dependiente el peso vivo de las vaquillonas, como efectos fijos el tratamiento recibido por sus madres y el genotipo del padre, y como efectos aleatorios, a la vaquillona y el su año de nacimiento. La edad en días de la vaquillona se consideró como covariable. A continuación, se presenta el modelo mixto utilizado:

$$Y_{ijklm} = \mu + T_i + G_j + E_k + A_l + N_m + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde los componentes del modelo son:

- Y_{ijkl} : variable de respuesta (peso vivo).
- μ : media general.
- T_i : Efecto relativo del i-ésimo nivel del factor tratamiento (asignado a la madre de la vaquillona).
- G_j : Efecto relativo del j-ésimo nivel del factor genotipo del padre de la vaquillona.
- E_k : Efecto relativo del k-ésimo nivel del factor edad en días.
- A_l : Efecto aleatorio del animal "l".
- N_m : Efecto aleatorio del año de nacimiento "m".
- ϵ_{ijklm} : Error experimental residual.

Sobre los datos de peso vivo estimados con el nuevo modelo, se ajustaron los siguientes modelos estadísticos:

Modelos de regresión lineal:

- Primer orden (lineal): $y = a + bx$
- Segundo orden (cuadrático): $y = a + bx + cx^2$

Componentes del modelo:

- ❖ y : Peso vivo del animal (kg).
- ❖ a : Peso al nacimiento.
- ❖ b y c : Coeficientes de regresión.
- ❖ x : Edad del animal (meses).

Modelos de regresión no lineal:

- Gompertz: $y = Ae^{-Be^{(-kt)}}$
- Brody: $y = A (1 - Be^{-kt})$
- Von Bertalanffy: $y = A (1 - Be^{-kt})^3$
- Logístico: $y = A (1 + Be^{-kt})^{-1}$

Componentes del modelo:

- ❖ y : Peso vivo del animal (kg).
- ❖ t : Edad del animal (meses).
- ❖ A : Peso adulto o asintótico (kg).
- ❖ B : Constante de integración.

- ❖ k: Pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento ($\text{Kg} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$).

Se estimó el coeficiente de determinación ajustado (r^2 ajustado), el coeficiente AIC (Criterio de Información de Akaike) y BIC (Criterio de Información Bayesiano) de cada modelo para evaluar el ajuste a la base de datos (Schwarz, 1978; Akaike, 1987).

5. RESULTADOS

Como resultado del primer análisis de varianza, se encontró que el genotipo de las vaquillonas, la interacción entre el grupo genético de las vacas y la oferta de forraje a la que se manejaron durante el pre y postparto, así como la triple interacción entre la oferta de forraje, el grupo genético de las vacas y la edad de las vaquillonas, no tuvieron un efecto significativo sobre el peso vivo de éstas desde el nacimiento hasta los 26 meses de edad ($p\text{-valor} > 0.05$). Por lo tanto, estos efectos fueron removidos del modelo.

En el Cuadro 13, se presentan los resultados del análisis de varianza realizado para la variable peso vivo de vaquillonas, considerando el modelo expuesto en la sección 4.2.

Cuadro 13

Efecto de la oferta de forraje, grupo genético y edad sobre el peso de vaquillonas

Efecto	Grados de libertad	P-valor ($Pr > F$)
Oferta de forraje pre y postparto	1	0,01816
Grupo genético de la madre	1	0,90640
Edad en meses de la vaquillona	25	$< 2,0 \times 10^{-16}$
Grupo genético de la madre x Edad en meses	25	0,01174
Oferta de forraje x Edad en meses	25	0,00731

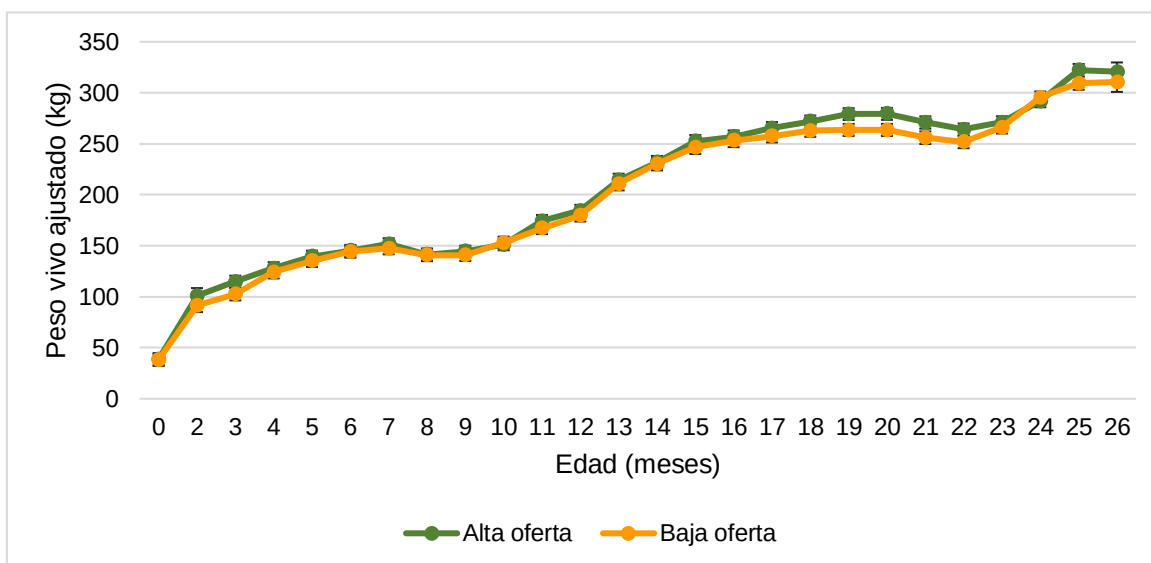
Nota. Niveles del efecto “Oferta de forraje pre y postparto”: Alta y Baja, niveles del efecto “Grupo genético de la madre”: Pura y Cruza, niveles del efecto “Edad en meses de la vaquillona” de 0 a 26 meses.

Los resultados presentados en el Cuadro 13 indican que la oferta de forraje a la que se manejaron las madres durante el pre y postparto, así como la edad de las vaquillonas, tienen un efecto significativo sobre el peso vivo de éstas, mientras que el grupo genético de la madre no. Además, las interacciones entre la oferta de forraje asignada a la madre y la edad de las vaquillonas, así como entre el grupo genético de la madre y la edad de las vaquillonas, también presentan un efecto significativo sobre el peso vivo de las vaquillonas.

La prueba de Tukey confirmó diferencias significativas en los pesos vivos de las vaquillonas según el nivel de oferta de forraje pre y postparto al que fueron manejadas sus madres. En este sentido, las vaquillonas hijas de vacas que habían sido manejadas a alta oferta de forraje presentaron un peso vivo promedio superior respecto a las hijas de vacas manejadas a baja oferta: $208 \text{ vs } 202 \pm 5 \text{ kg}$ ($p\text{-valor} = 0,02$). Sin embargo, al considerar la interacción entre la oferta de forraje y la edad de las vaquillonas, la prueba de Tukey no detectó diferencias significativas en los pesos de las vaquillonas según el nivel de oferta de forraje asignado a sus madres en ninguna de las edades consideradas (Figura 11).

Figura 11

Evolución de peso vivo de vaquillonas según la oferta de forraje pre y postparto



En la Figura 11, se presenta la evolución de peso vivo de las vaquillonas en función de su edad, considerando la interacción de ésta con la oferta de forraje a la que se manejaron sus madres. En la misma se aprecia que la dinámica en lo que respecta a la evolución del peso vivo de las vaquillonas es similar considerando ambos niveles de oferta de forraje. Asimismo, se observa que las vaquillonas experimentaron momentos en los que ganaron, mantuvieron y perdieron peso, independientemente del nivel de oferta de forraje asignado a sus madres.

El peso al nacer de las terneras no presentó diferencias significativas (p -valor $> 0,05$), alcanzando valores de $38,9 \pm 5,89$ kg y $38,1 \pm 5,86$ kg para las hijas de vacas manejadas a alta y baja oferta de forraje, respectivamente. Desde el nacimiento hasta aproximadamente los 6–7 meses de edad, período que se corresponde mayoritariamente con la lactancia, las terneras ganaron peso. En los meses 2 y 3, aunque no se encontraron diferencias significativas en los pesos, las terneras hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje presentaron una superioridad de 9 y 12 kg, respectivamente, en comparación con las hijas de vacas manejadas a baja oferta, y esta diferencia se fue reduciendo hacia el final de este período. A los 7 meses de edad, las terneras hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje alcanzaron un peso promedio de $152 \pm 5,7$ kg y las hijas de vacas manejadas a baja oferta de forraje de $148 \pm 5,8$ kg, sin diferenciarse significativamente ambos grupos (p -valor $> 0,05$).

Entre los meses 7 y 9, se observa que las vaquillonas de ambos grupos experimentaron una leve pérdida de peso, llegando al final de este período con pesos de $142 \pm 5,7$ kg.

Desde el mes 9 hasta el mes 18, las vaquillonas ganaron peso, aunque, como muestra la Figura 11, la magnitud de la ganancia diaria de peso no fue uniforme a lo largo de todo este período. Hacia el final del mismo, entre los meses 15 y 18, aunque las

vaquillonas de ambos grupos continuaron ganando peso, la tasa de ganancia a la cual lo hicieron se redujo en comparación con la que habían experimentado entre los meses 9 y 15. A los 18 meses de edad, el peso vivo de las vaquillonas no difirió significativamente según el nivel de oferta de forraje al que se manejaron sus madres (p -valor $>0,05$), alcanzando los $272 \pm 5,8$ kg las hijas de vacas manejadas a alta oferta y los $263 \pm 5,9$ kg las hijas de vacas manejadas a baja oferta de forraje.

Durante los meses 18, 19 y 20, las vaquillonas hijas de vacas asignadas a una oferta de forraje baja mantuvieron prácticamente su peso, mientras que las del otro grupo continuaron ganando peso, especialmente entre los meses 18 y 19, alcanzando un peso de $279 \pm 5,9$ kg al final de este período. No obstante, el peso vivo de ambos grupos de vaquillonas no mostró diferencias significativas (p -valor $>0,05$).

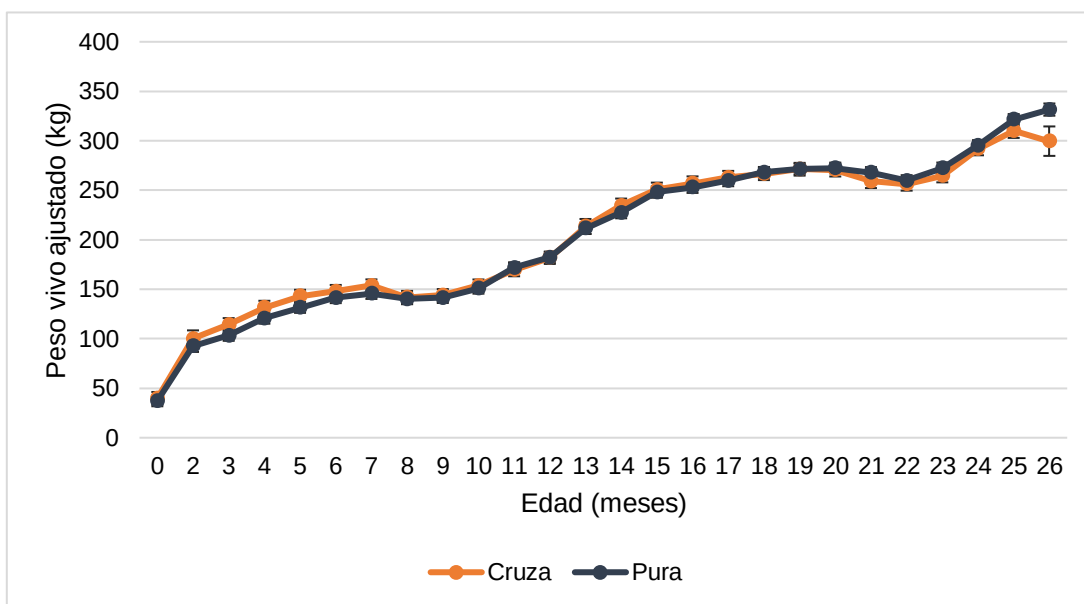
Entre los meses 20 y 22, las vaquillonas experimentaron una nueva pérdida de peso, alcanzando al final de este período pesos que, si bien no difirieron significativamente (p -valor $>0,05$), se situaron en torno a $264 \pm 5,8$ kg y $252 \pm 6,1$ kg para las hijas de vacas manejadas a alta y baja oferta de forraje respectivamente.

Durante el período comprendido entre los meses 22 y 26, las vaquillonas de ambos grupos experimentaron una ganancia de peso, llegando a los 26 meses de edad con pesos de 320 kg para las hijas de vacas manejadas a alta oferta y 311 kg para las hijas de vacas manejadas a baja oferta, sin diferenciarse significativamente entre sí (p -valor $>0,05$).

Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre los pesos vivos promedios de las vaquillonas hijas de vacas puras y las hijas de vacas cruzas, siendo el peso vivo promedio de ambos grupos 205 kg (p -valor = 0,91). Además, al analizar la interacción entre el grupo genético de las madres y la edad de sus hijas, tampoco se observaron diferencias significativas en los pesos vivos de las vaquillonas según el grupo genético de sus madres, al comparar dichos pesos dentro de cada una de las edades evaluadas (Figura 12).

Figura 12

Evolución de peso vivo de las vaquillonas según el grupo genético de la madre



En la Figura 12 se muestra la evolución de peso vivo de las vaquillonas en función de su edad, diferenciándolas según el grupo genético de sus madres. El peso al nacer de las terneras fue de $39,8 \pm 6,44$ kg para las hijas de vacas cruza y de $37,2 \pm 5,49$ kg para las hijas de vacas puras, sin diferenciarse significativamente ($p\text{-valor} > 0,05$). Hasta aproximadamente los 18 meses de edad, si bien la prueba de Tukey no detectó diferencias significativas en los pesos de las vaquillonas, se observó una tendencia en la que las vaquillonas hijas de vacas cruza mostraron una superioridad en el peso vivo para la mayoría de las edades que componen este período. Esta superioridad se manifestó fundamentalmente entre los meses 2 y 7, cuando las vaquillonas hijas de vacas cruza pesaron, en promedio, 10 kg más que las hijas de vacas puras. Desde el mes 7 al 18, dicha superioridad comenzó a reducirse y, a partir de mes 18, la tendencia se invirtió, de manera que las vaquillonas hijas de vacas puras pasaron a ser más pesadas, aproximadamente en 10 kg, aunque según los resultados arrojados por la prueba de Tukey, los pesos de ambos grupos de vaquillonas no difirieron significativamente. A los 26 meses de edad, las hijas de vacas puras pesaron $332 \pm 6,2$ kg y las hijas de vacas cruza $300 \pm 14,9$ kg, sin diferenciarse significativamente ($p\text{-valor} > 0,05$).

A su vez, se observa que hay dos momentos durante el período de análisis en los que las vaquillonas experimentaron una pérdida de peso vivo. El primero se sitúa entre los meses 7 y 9, y el segundo entre los meses 20 y 22. En el primer período, ambos grupos de vaquillonas manifestaron una pérdida de peso, con una tendencia en la que las hijas de vacas cruza perdieron más que las hijas de vacas puras: 10 vs 4 kg aproximadamente. Sin embargo, la prueba de Tukey no reveló diferencias significativas entre los pesos de las vaquillonas de ambos grupos. En el segundo período, si bien se mantuvo la tendencia de que las hijas de vacas cruza perdieran más peso que las hijas de vacas puras, la diferencia fue menor en comparación con la que existió en el primer período. Entre los meses 20 y 22, las hijas de vacas cruza perdieron 15 kg en total y las hijas de vacas puras 13 kg.

En el Cuadro 14, se presenta para cada modelo evaluado el valor de los parámetros que componen dichos modelos, y sus respectivos coeficientes de determinación ajustado, AIC y BIC.

Cuadro 14

Modelos de regresión lineal y no lineal, sus parámetros y coeficientes de determinación, AIC y BIC

MODELO	PARÁMETROS		ERROR ESTÁNDAR	MODELO	R ² aju	AIC	BIC
PRIMER ORDEN	a	79,9	0,78	$y=79,90 + 0,32x$	0,928	23273	23290
	b	0,32	0,0018				
SEGUNDO ORDEN	a	64,24	1,21	$y=64,24 + 0,43x - 0,00014x^2$	0,935	23015	23039
	b	0,43	0,0069				
	c	-0,00014	0,0000083				
BRODY	A	612,11	24,68	$y=612,11(1 - 0,90e^{(-0,00081x)})$	0,935	23021	23045
	B	0,9	0,003				
	k	0,00081	0,00005				
VON BERTALANFFY	A	433,36	7,56	$y=433,36(1 - 0,46e^{(-0,0020x)})^3$	0,934	23037	23060
	B	0,46	0,0022				
	k	0,002	0,000057				
GOMPERTZ	A	400,22	5,48	$y=400,22e^{(-1,71e^{(-0,0026x)})}$	0,934	23042	23066
	B	1,71	0,01				
	k	0,0026	0,00006				
LOGÍSTICO	A	351,09	2,93	$y=351,09(1 + 3,52e^{(-0,0044x)})^{-1}$	0,934	23051	23075
	B	3,52	0,038				
	k	0,0044	0,000071				

Nota. a: peso al nacer, b y c: coeficientes de regresión, A: peso adulto, B: constante de integración, k: pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento, R²aju.: coeficiente de determinación ajustado.

Teniendo en cuenta el coeficiente r^2 ajustado, se observa que todos los modelos evaluados presentan un ajuste muy alto (0,93) y que prácticamente no existen diferencias entre los mismos al considerar únicamente este coeficiente. Dentro del grupo de modelos de regresión lineal, el modelo de segundo orden mostró un coeficiente de determinación ajustado ligeramente superior al del modelo primer orden, así como menores valores de AIC y BIC. En este sentido, se podría indicar que el modelo de segundo orden es el modelo que presentaría un mejor ajuste dentro del grupo de los modelos de regresión lineal. Por su parte, en lo que respecta a los modelos de regresión no lineal, aunque el r^2 ajustado es muy similar entre estos modelos, el modelo de Brody presentó un coeficiente de determinación ajustado levemente superior. A su vez, considerando los coeficientes de AIC y BIC, se

observa que existen diferencias entre los modelos que componen este grupo de modelos de regresión no lineal, siendo el modelo de Brody el que presentó menores valores de dichos coeficientes. Por lo tanto, dentro de los modelos de regresión no lineal, el modelo de Brody sería el que mejor se ajusta a los datos, en tanto que el modelo Logístico fue el que mostró el menor ajuste.

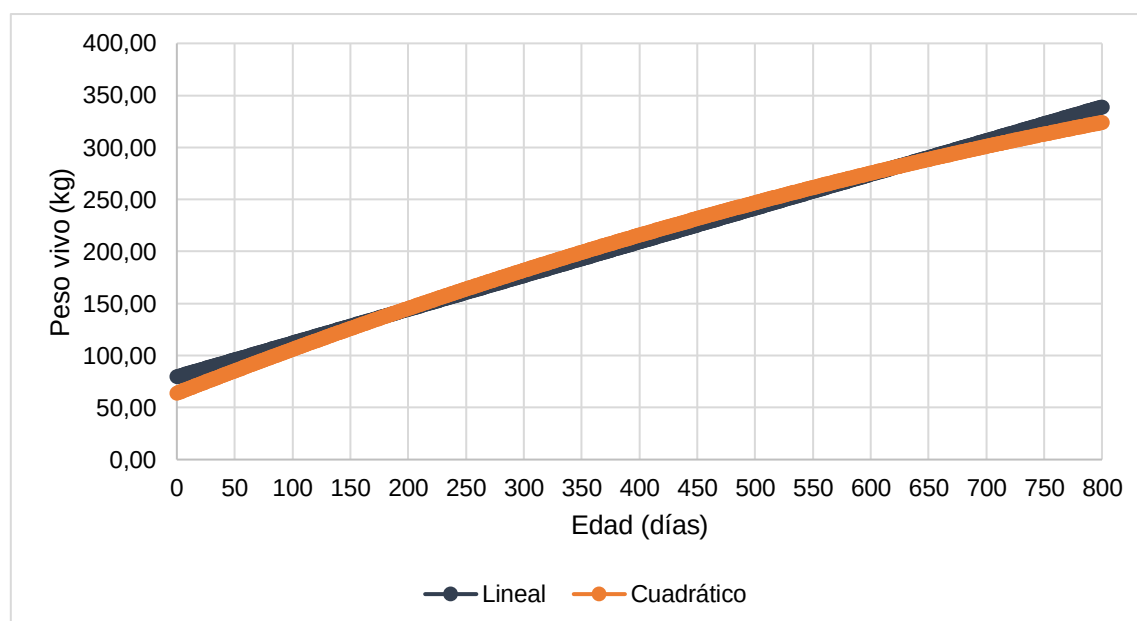
Considerando los parámetros obtenidos para dichos modelos, dentro de los modelos de regresión lineal se puede apreciar que tanto el modelo de primer orden como el de segundo orden presentan valores para el parámetro “a”, referido al peso al nacer de los animales, que están muy alejados de los potenciales biológicos (modelo de primer orden: $a = 79,9$ kg, y modelo de segundo orden: $a = 64,24$ kg).

Con relación a los modelos de regresión no lineal, el parámetro “A” que reflejaría el peso adulto de los animales, en el marco de este trabajo refiere al peso que alcanzarían las vaquillonas en torno a los dos años de edad. Los valores de A obtenidos por los modelos de regresión no lineal, estuvieron comprendidos entre 351 y 612 kg de peso vivo, siendo el modelo Logístico el que estima los menores pesos asintóticos mientras que el modelo de Brody, los mayores.

En la figura que se presenta a continuación (Figura 13) se muestran las curvas de crecimiento obtenidas a partir de los modelos de regresión lineal (modelo de primer y segundo orden), utilizando la edad de la vaquillona (expresada en días) como variable independiente. Además de la sobreestimación del peso al nacer, ya mencionada anteriormente, se observa que los pesos que alcanzarían las vaquillonas a los dos años de edad rondan entre 300 y 350 kg, siendo los valores estimados por el modelo de primer orden superiores a los estimados por el modelo de segundo orden.

Figura 13

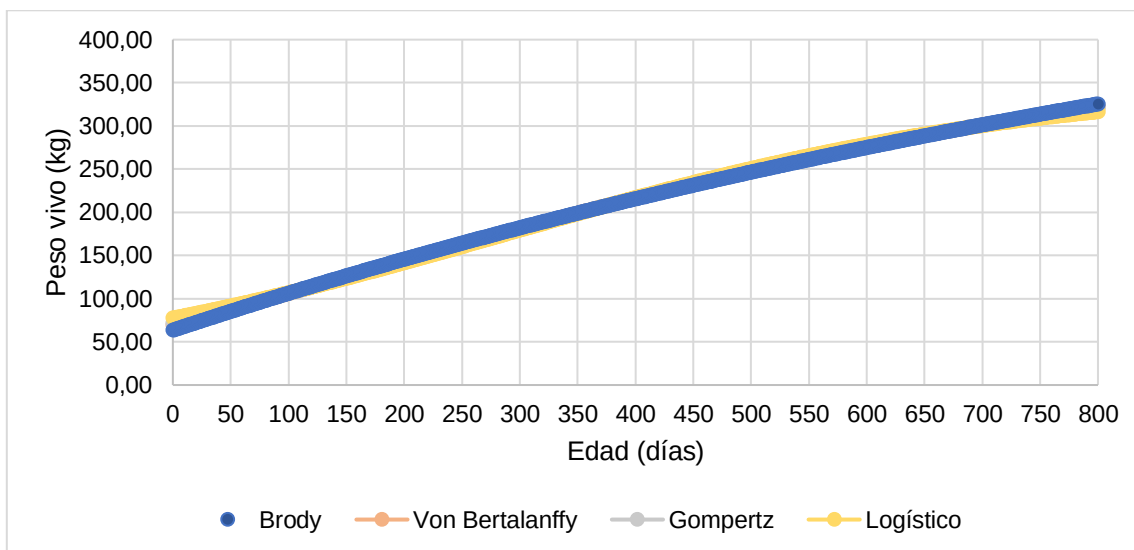
Curva de crecimiento de las vaquillonas estimada a partir de los modelos de regresión lineal



Por su parte, la Figura 14 presenta las curvas de crecimiento constituidas a partir de los modelos de regresión no lineal. En esta figura, se observa que, cualquiera sea el modelo considerado, también existe una sobreestimación del peso al nacimiento, el cual varía entre 63 y 77 kg aproximadamente. Asimismo, se aprecia que, a partir de los 60 días de edad y hasta aproximadamente los dos años (800 días), prácticamente no existen diferencias en los pesos estimados para una misma edad, ubicando el peso a los dos años en torno a los 300 – 310 kg, independientemente del modelo aplicado.

Figura 14

Curva de crecimiento de las vaquillonas estimada a partir de los modelos de regresión no lineal



6. DISCUSIÓN

Este trabajo tuvo como uno de sus objetivos evaluar el efecto de la oferta de forraje de campo natural a la que se manejaron las vacas durante el pre y postparto y del grupo genético de éstas, sobre el peso vivo de sus hijas desde el nacimiento hasta los 26 meses de edad. Poder determinar si estos factores influyen significativamente en el peso vivo de las vaquillonas es relevante dado que ambos factores están relacionados a tecnologías de procesos a partir de las cuales se podría mejorar los resultados productivos, económicos y la eficiencia global del proceso de producción de aquellos sistemas que involucran la fase de cría y la recría de los reemplazos, sin la necesidad de incrementar los costos de producción (Paparamborda et al., 2023).

Existen trabajos realizados sobre campo natural que han evaluado el impacto de diferentes niveles de oferta de forraje, entre 2,5 y 5 kg MS/kg PV, con los que se manejaron las vacas durante la gestación y la lactancia, así como del grupo genético de éstas, sobre el peso vivo al nacimiento y hasta el destete de sus descendencias (Claramunt et al., 2018; Do Carmo et al., 2018; Espasandin et al., 2013). El trabajo de Gutiérrez et al. (2012) fue el único encontrado que evaluó dichos efectos hasta el año de edad (380 días). En base a los antecedentes, el presente trabajo es novedoso ya que se llevó a cabo considerando el crecimiento de las vaquillonas desde su nacimiento hasta los 26 meses de edad.

Asimismo, los estudios que evaluaron el efecto de la oferta de forraje sobre el crecimiento de los terneros, desde su nacimiento hasta el destete, involucraron período de evaluación de entre 2 y 3 años (Claramunt et al., 2018; Do Carmo et al., 2018; Espasandin et al., 2013), y en el caso del estudio que continuó evaluando el efecto de la oferta de forraje sobre el peso vivo de los terneros hasta el año de edad, se realizó considerando un solo año de evaluación (Gutiérrez et al., 2012). El hecho de considerar 1 año de evaluación en trabajos que analizan aspectos relacionados con la producción animal en pastoreo sobre pastizales (Adams et al., 2000) hace que las particularidades climáticas de esos años puedan influir en los resultados obtenidos. Las condiciones climáticas, y en particular las precipitaciones, que presentan una alta variabilidad tanto intra como interanual, generan importantes fluctuaciones en la producción de forraje de un determinado año, lo que repercute en la cantidad de forraje y el crecimiento de los terneros en la fase de cría (Claramunt et al., 2018; Do Carmo et al., 2018). Asimismo, las condiciones climáticas que impone el efecto “año” sobre la nutrición interactúan con el estado fisiológico de los animales, lo que, en el caso de las categorías de recría, podría afectar de manera diferencial el crecimiento y desarrollo de estos animales, provocando variaciones en el desempeño productivo posterior. Un ejemplo de esto es lo que sucede en el invierno, estación en la que las categorías de recría cuando son alimentadas exclusivamente a campo natural experimentan pérdidas de peso vivo (Pigurina, 1995; Quintans, 2006), las cuales pueden comprometer la respuesta al crecimiento compensatorio en primavera, cuando se mejoran las condiciones de alimentación (Bavera et al., 2005b; Borges Pelaggio & Frick Capurro, 2003; Scaglia, 1996). Por lo tanto, con el objetivo de reducir el impacto de las variaciones entre años y obtener resultados más consistentes y replicables a lo largo del tiempo, en este trabajo se analizaron registros de peso vivo de vaquillonas nacidas entre 2007 y 2014.

Con respecto a la primera hipótesis planteada, ésta se cumplió, ya que la oferta de forraje a la que se manejaron las madres de las vaquillonas durante el pre y postparto tuvo un efecto significativo sobre el peso vivo de sus hijas. Se observó que las hijas de vacas que fueron manejadas a alta oferta de forraje durante la gestación y la lactancia alcanzaron

un peso vivo promedio superior respecto al de las hijas de vacas manejadas a baja oferta de forraje durante el mismo período.

Asimismo, el peso al nacer de las terneras no estuvo afectado por el nivel de oferta de forraje a la que se manejaron sus madres durante la gestación, tal como se planteó en la primera hipótesis. Los antecedentes que evaluaron similares niveles de oferta de forraje al del presente estudio, como el trabajo de Claramunt et al. (2018) y el de Do Carmo et al. (2018), reportaron resultados similares. La razón por la cual el peso al nacer no se vio afectado podría explicarse por el hecho de que, en el último tercio de gestación, cuando se produce un aumento significativo en el peso de feto (representando 2/3 del crecimiento total, según Bavera et al., 2005a), producto de que en la partición de nutrientes existe una alta prioridad para el crecimiento del feto (Short et al., 1990), las vacas, tanto de alta como de baja oferta de forraje, se manejaron con la misma asignación de forraje, 3 kgMS/kgPV.

Por otra parte, aunque la prueba de Tukey no registró diferencias significativas en los pesos vivos de las vaquillonas debido a la interacción entre oferta de forraje a la que fue manejada la vaca y la edad de las vaquillonas, la diferencia de peso entre ambos grupos, según el nivel de oferta al que se manejó su madre, no fue constante a lo largo del período de evaluación. En este sentido, se identificaron períodos ubicados entre los 2 y 3 meses, los 18 y 22 meses y entre los 25 y 26 meses, en los cuales se produjeron estas diferencias.

Las hijas de vacas manejadas a alta oferta pesaron 9 y 12 kg más que las de baja oferta a los 2 y 3 meses de edad, respectivamente. En trabajos nacionales como el de Espasandin et al. (2013) y el de Do Carmo et al. (2018), se encontró un efecto significativo de la oferta de forraje a la que fueron manejadas las vacas durante el pre y postparto sobre el peso vivo de sus crías a similar período. En el caso del trabajo de Espasandin et al. (2013), los terneros hijos de vacas manejadas a alta oferta de forraje fueron, en promedio, 10 kg más pesados que los hijos de vacas manejadas a baja oferta (123 kg vs 113 ± 3 kg), a los 112 ± 19 días de edad. Por su parte, Do Carmo et al. (2018), reportaron superioridades de 17,7 kg en el primer año de evaluación ($119,5$ vs $101,8 \pm 4,3$ kg), cuando los terneros tenían 102 ± 11 días, y de 10 kg, a los 123 ± 13 días de edad, en el segundo año ($133,7$ vs $123,7 \pm 3,5$ kg), de los terneros hijos de vacas manejadas a alta oferta en comparación con los hijos de vacas manejadas a baja oferta de forraje. En el presente estudio, a los 3 y 4 meses de edad, se encontró que las terneras hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje pesaron $114,9 \pm 5,82$ kg y $127,8 \pm 6,08$ kg, a los 3 y 4 meses respectivamente, mientras que las hijas de vacas que fueron manejadas a baja oferta de forraje alcanzaron pesos de $102,6 \pm 6,17$ kg y $124,3 \pm 6,30$ kg para esas mismas edades. Esto refleja una superioridad de 12 y 4 kg de las terneras hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje a los 3 y 4 meses de edad, respectivamente, valores similares a los reportados por los antecedentes antes mencionados. El mayor peso de las terneras observado en el presente estudio a los 3 y 4 meses de edad podría explicarse por una mayor producción de leche en las vacas manejadas a alta oferta de forraje durante la gestación y la lactancia, como se observó en los resultados reportados por Gutiérrez et al. (2012). De esta forma, las terneras hijas de vacas manejadas a alta oferta podrían haber experimentado un mayor consumo de leche, lo que les habría proporcionado un mayor aporte de nutrientes, permitiéndoles así experimentar mayores ganancias de peso durante los primeros 3 meses de vida. Sin embargo, estos resultados no coinciden completamente con lo observado por Claramunt et al. (2018) para estas mismas edades (3-4 meses). Aunque estos autores, en dos años consecutivos, encontraron diferencias significativas en el peso vivo de los terneros a los 205 días de edad (destete) según el nivel de oferta de forraje al que habían sido manejadas sus madres, reportaron que dichas diferencias se produjeron fundamentalmente en los

últimos 85-90 días del período de lactancia. En cambio, a edades más tempranas, los pesos de los terneros no mostraron diferencias significativas en función del nivel de oferta de forraje al que habían sido manejadas sus madres durante la gestación y la lactancia. Estas diferencias en los resultados entre ambos trabajos están explicadas por el hecho de que no registraron diferencias en los niveles de producción de leche en los primeros 3 meses de edad dado por las menores diferencias en las cantidades de forraje entre tratamientos y el uso de vacas primíparas como modelo experimental (Claramunt et al., 2020, 2024).

Posterior a los 4 meses de edad y hasta los 12 meses, se observó que el peso de las terneras de ambos grupos tiende a ser similar, aunque con una leve superioridad de las hijas de vacas manejadas a alta oferta. A los 12 meses de edad, éstas superaron en aproximadamente 5 kg a las hijas de vacas manejadas a baja oferta (184,5 vs 179,6 $\pm$ 5,75 kg). Esta similar performance, referida a la ganancia de peso durante el período de 5 a 12 meses, seguramente obedezca a que, una vez realizado el destete definitivo, todas fueron manejadas como un solo lote, recibiendo el mismo régimen de alimentación. Por otra parte, entre los 18 y 22 meses, así como entre los 25 y 26 meses de edad, las vaquillonas hijas de vacas que fueron manejadas a alta oferta de forraje presentaron diferencias de pesos similares a las observadas durante la fase de cría. En este sentido, las vaquillonas hijas de vacas manejadas a alta oferta fueron más pesadas durante el período entre los 18 y 22 meses de edad, alcanzando una superioridad de entre 9 y 16 kg respecto a las vaquillonas del otro grupo. Asimismo, a los 25 y 26 meses de edad, las vaquillonas hijas de vacas manejadas a alta oferta alcanzaron un peso que superó en 13 y 10 kg, respectivamente, al que alcanzaron a esas edades las hijas de vacas manejadas a baja oferta de forraje. Esta tendencia observada a conservar las diferencias de peso existentes en la fase de cría coincide, en parte, con la reportada por Gutiérrez et al. (2012). Estos autores encontraron que, desde el destete hasta el año de edad, el peso vivo de los terneros hijos de vacas manejadas a alta oferta de forraje durante la gestación y lactancia fue superior al de los terneros hijos de vacas manejadas a baja oferta, de manera que la superioridad de éstos al año de edad era prácticamente la misma que la observada al momento del destete. Al año de edad, estos autores reportaron mayores pesos de los terneros de ambos grupos, y una superioridad en torno a 15 kg de los terneros hijos de vacas manejadas a alta oferta respecto a los terneros hijos de vacas manejadas a baja oferta. La superioridad observada en el trabajo de Gutiérrez et al. (2012) y en el presente trabajo, no se debió a un desempeño diferencial de los terneros entre el destete y el año de edad, sino que provino de la superioridad existente durante el período de cría. Por otra parte, el estudio de Gutiérrez et al. (2012) reportó una interacción significativa entre el nivel de oferta de forraje y el grupo genético de las vacas, lo que no se constató en el presente estudio. En este sentido, Gutiérrez et al. (2012) hallaron que el peso vivo al año de los terneros hijos de vacas cruza manejadas a baja oferta de forraje fue prácticamente similar al de los terneros hijos de vacas puras y cruza manejadas a alta oferta de forraje (alrededor de 240 kg), mientras que los terneros hijos de vacas puras manejadas a baja oferta fueron lo que alcanzaron los menores pesos (aproximadamente 210 kg). No obstante, en los otros estudios que evaluaron el peso vivo hasta aproximadamente los 4 meses de edad (Do Carmo et al., 2018) no hubo efecto significativo de la interacción entre la oferta de forraje y el genotipo de la vaca en acuerdo con los resultados del presente trabajo.

En contraste con lo planteado en la segunda hipótesis, en el presente estudio se encontró que el grupo genético de las vacas no tuvo un efecto significativo sobre el peso vivo de las vaquillonas. Si bien el modelo detectó la interacción entre el grupo genético de la madre y los meses como significativa, la prueba de Tukey no identificó períodos con diferencias significativas en el peso vivo de las vaquillonas entre el nacimiento y los 26

meses de edad, y las curvas de evolución de peso vivo muestran similitud. El peso al nacer de las terneras no se vio afectado por el grupo genético de las vacas, lo que coincide con lo reportado en trabajos como el de Espasandin et al. (2013) y Do Carmo et al. (2018). Si bien no hay diferencias estadísticas, entre los 2 y 7 meses de edad, las terneras hijas de vacas cruza presentaron un peso vivo superior respecto al de las hijas de vacas puras, con una diferencia que osciló entre los 7 y los 12 kg. Estos resultados son similares a los antecedentes que observaron que, a los 112 ± 19 días de edad, los terneros hijos de vacas cruza fueron, en promedio, 12 kg más pesados que los hijos de vacas puras (124 vs 112 ± 3 kg; Espasandin et al., 2012). Esta diferencia es similar a la encontrada en el presente trabajo, donde las terneras hijas de vacas cruza eran casi 11 kg más pesadas que las hijas de vacas puras a los 4 meses de edad ($131,3$ vs $120,8 \pm 6,32$ kg). Asimismo, estas diferencias de peso vivo entre ambos grupos de terneras son similares a las observadas en el trabajo de Do Carmo et al. (2018). Estos autores reportaron que los terneros hijos de vacas cruza pesaron 18 kg más, a los 102 días de edad, que los hijos de vacas puras ($119,8$ vs $101,5 \pm 4,2$ kg), en el primer año de evaluación, y en el segundo año, dicha superioridad fue de 11 kg (134 kg vs $123 \pm 3,4$ kg), a los 125 días de edad. Esta superioridad en peso vivo, se debe a que las terneras hijas de vacas cruza experimentaron mayores tasas de ganancia de peso durante la lactancia, probablemente asociadas a una mayor producción de leche, así como a mayores contenidos de sólidos en la leche de las vacas cruza respecto a las vacas puras (Gutiérrez et al., 2012).

Asimismo, en el presente estudio se encontró que luego de los 7 meses, el peso vivo de las vaquillonas fue prácticamente igual. Esto se debe a que la superioridad en peso de las hijas de vacas cruza, que se había manifestado entre los 2 y 7 meses, se perdió una vez realizado el destete. Aunque ambos grupos de vaquillonas, al ser manejados de forma conjunta como un solo lote, experimentaron una caída en su peso vivo, la magnitud de dicha caída fue considerablemente mayor en las hijas de vacas cruza, alcanzando aproximadamente el doble de la pérdida registrada en las hijas de vacas puras. Este resultado no coincide con lo reportado por Gutiérrez et al. (2012), quienes encontraron que, durante similar período, los terneros hijos de vacas cruza mantenían hasta el año de edad las diferencias de peso alcanzadas durante la fase de cría. En este sentido, encontraron que los terneros hijos de vacas cruza pesaban aproximadamente 15 kg más que los hijos de vacas puras (240 vs 225 kg, aproximadamente) mientras que en el presente estudio es de $181,8 \pm 6,26$ kg para las hijas de vacas cruza y $182,2 \pm 5,38$ para las hijas de vacas puras. Por otra parte, Gutiérrez et al. (2012) también encontraron que, después de realizado el destete, los terneros experimentaron una caída en las ganancias diaria de peso, lo que resultó en una reducción de su peso vivo. Esto podría estar explicado por varias razones, entre las que se destacan el estrés causado por la ruptura de vínculo madre-hijo (Weary et al., 2008), la adaptación de los terneros a una nueva dieta basada exclusivamente en forraje, y la reducción tanto de la masa como de la altura del forraje. Este último factor es común en el campo natural uruguayo, donde, a partir de mediados del otoño, las tasas de crecimiento de las pasturas naturales comienzan a disminuir, alcanzando sus valores mínimos en invierno (Ayala et al., 1993; Bemhaja, 2006; Berretta & Bemhaja, 1998). A medida que esto ocurre, tanto la altura como la disponibilidad de forraje disminuyen, limitando el consumo de los animales y provocando una restricción nutricional que, consecuentemente, conlleva a una pérdida de peso vivo. Por lo tanto, se podría considerar que el efecto generado por el grupo genético de la madre sobre el peso vivo de las vaquillonas, observado entre los 2 y 7 meses de edad, se va perdiendo a medida que la vaquillona va creciendo.

Con respecto a la dinámica de la evolución de peso vivo de las vaquillonas entre 0 y 26 meses de edad (figuras 11 y 12), se observa una curva de crecimiento típica de animales que son manejados sobre campo natural, en la que atraviesan períodos de ganancia, mantenimiento y pérdida de peso. Durante la lactancia, que comienza con el nacimiento y culmina con el destete definitivo de los terneros, generalmente realizado en torno a los 6 meses de edad, las terneras experimentaron altas ganancias de peso, en acuerdo con los modelos teóricos de crecimiento relativo (Bavera et al., 2005a). En este período, las diferencias en las ganancias de peso están asociadas principalmente a la producción de leche de sus madres (Rovira, 2008). A medida que el ternero crece, sus requerimientos nutricionales aumentan, y llega un punto en el que la producción de leche de su madre ya no es suficiente para cubrirlos. A partir de este momento, la performance del ternero pasa a depender fundamentalmente de la cantidad y el valor nutritivo del forraje disponible (Bavera, 2005). A medida que avanzó esta etapa, la tasa de ganancia de peso de las terneras fue disminuyendo.

En invierno, es común que los animales de recría, como las terneras y las vaquillonas, manejados exclusivamente en campo natural, experimenten una pérdida de peso, ya que este recurso no ofrece ni la disponibilidad ni la calidad necesaria para satisfacer los requerimientos de este tipo de animales (Quintans, 2006). Sin embargo, en el presente trabajo esto no se observó del todo. En cuanto a las terneras durante su primer invierno, comprendido aproximadamente entre los 7 y 9 meses de edad inclusive, se observó que, aunque experimentaron una pérdida de peso, esta se concentró entre los meses 8 y 9, cuando se consideran los grupos de terneras según el nivel de oferta de forraje asignado a sus madres (Figura 11), y entre los meses 7 y 8, cuando se agruparon las terneras según el grupo genético de sus madres (Figura 12). Si bien la prueba de Tukey no detectó diferencias significativas entre los pesos de las terneras de ninguno de los grupos para las edades mencionadas, se observó que las hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje perdieron alrededor de 11 kg, a una tasa de $-0,338$ kg/día, y las hijas de vacas manejadas a baja oferta perdieron casi 7 kg, a razón de $-0,223$ kg/día. Por otro lado, cuando se consideró el grupo genético de las madres, las terneras hijas de vacas cruzas perdieron aproximadamente 12 kg, a una tasa de $-0,387$ kg/día, y las hijas de vacas puras perdieron casi 6 kg, a razón de $-0,175$ kg/día. En los meses restantes del invierno, las terneras experimentaron leves ganancias de peso, que oscilaron entre mantenimiento y los $0,100$ kg/día. Por su parte, las vaquillonas mostraron un comportamiento distinto a de las terneras, ya que la duración del período de pérdida de peso fue más prolongada, lo que se asemeja a lo documentado en la bibliografía. En el caso de las vaquillonas agrupadas según el nivel de oferta de forraje al que se manejaron sus madres, la pérdida de peso para ambos grupos ocurrió entre los meses 20 y 22. Durante este período, las vaquillonas hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje, perdieron alrededor de 15 kg, a una tasa de $-0,250$ kg/día, y las hijas de vacas manejadas a baja oferta de forraje, perdieron casi 12 kg, a razón de $-0,130$ kg/día. Por su parte, al agrupar las vaquillonas según el grupo genético de sus madres, se observó que las hijas de vacas cruzas y puras también perdieron peso entre los 20 y 22 meses de edad inclusive. Las primeras perdieron aproximadamente 15 kg, a una tasa de $-0,166$ kg/día, y las segundas, perdieron cerca de 13 kg, a razón de $-0,211$ kg/día.

Durante la primavera, ubicada aproximadamente entre los 10 y 12 meses de edad, las terneras experimentaron una ganancia promedio de peso de $0,439$ kg/día para las hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje, $0,424$ kg/día para las hijas de vacas manejadas a baja oferta de forraje, $0,416$ kg/día para las hijas de vacas cruzas y $0,447$ kg/día para las hijas de vacas puras. Considerando estos valores de ganancia diaria de peso, no parece que se haya manifestado el fenómeno de crecimiento compensatorio durante esta estación

(Pigurina, 1995; Scaglia, 1996). En cuanto a las vaquillonas, con edades comprendidas entre los 22 y 24 meses, la ganancia de peso promedio en primavera fue de 0,453 kg/día para las hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje, 0,717 kg/día para las hijas de vacas manejadas a baja oferta de forraje, 0,360 kg/día para las hijas de vacas cruzas y 0,300 kg/día para las hijas de vacas puras. Al igual que para las terneras, no se observó claramente que se haya expresado el fenómeno de crecimiento compensatorio, salvo en el caso de las hijas de vacas manejadas a baja oferta de forraje, que presentaron una tasa de ganancia diaria de peso considerablemente mayor que la de los otros grupos.

Durante el verano, comprendido entre los 13 y 15 meses de edad, las vaquillonas de sobreaño experimentaron tasas de ganancia promedio de peso que fueron aproximadamente un 70% superiores a las que habían experimentado estas terneras durante la primavera. En este sentido, las tasas de ganancia de peso durante el verano fueron de 0,744 kg/día para las hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje, 0,733 kg/día para las hijas de vacas manejadas a baja oferta de forraje, 0,754 kg/día para las hijas de vacas cruzas y 0,723 kg/día para las hijas de vacas puras. Por lo tanto, en esta estación, se observa claramente un aumento considerable en las tasas de crecimiento de las vaquillonas en comparación con las que habían experimentado durante la primavera, lo cual podría estar relacionado con el fenómeno de crecimiento compensatorio. Esto podría estar relacionado con el hecho de que en la zona donde se llevó a cabo el estudio, el incremento significativo en las tasas de crecimiento del campo natural comienza a producirse avanzada la primavera, a partir de noviembre-diciembre (Do Carmo et al., 2018). A partir de ese momento, tanto la altura como la disponibilidad de forraje aumenta de manera importante, permitiéndoles a los animales experimentar mayores consumos de forraje, y, como resultado, se produce un incremento en la tasa de ganancia de peso (Bavera et al., 2005b).

Durante el segundo otoño de vida, comprendido entre los 16 y 18 meses de edad, las ganancias de peso de las vaquillonas de sobreaño se resienten en comparación a las que habían alcanzado durante el verano. Las mismas fueron de 0,214 kg/día para las hijas de vacas manejadas a alta oferta de forraje, 0,178 kg/día para las hijas de vacas manejadas a baja oferta de forraje, 0,174 kg/día para las hijas de vacas cruzas y 0,217 kg/día para las hijas de vacas puras. En el caso particular de las vaquillonas de reemplazo, no sólo es importante lograr que éstas lleguen al entore con un peso óptimo, sino que también importa cómo fue la dinámica en lo que respecta a las tasas de ganancia que experimentaron las vaquillonas desde el nacimiento hasta su primer entore. Esto se debe a que el peso dinámico es uno de los factores que incide en la posibilidad de que las vaquillonas alcancen la pubertad previo a su primer servicio, y que lleguen a éste ciclando normalmente (Costa Gómez et al., 2007; Quintans & Roig, 2008).

En lo que respecta a la tercera hipótesis formulada, esta no se cumplió, ya que todos los modelos evaluados, tanto de regresión lineal como no lineal, presentaron un ajuste muy similar, alcanzando valores elevados para el coeficiente de determinación. Esto indica que todos los modelos evaluados explican una proporción muy importante de la variabilidad observada en los pesos vivos de las vaquillonas desde su nacimiento hasta los 26 meses de edad.

En el caso particular de los modelos de regresión lineal, si bien tanto el de primer como el de segundo orden presentaron un r^2 ajustado muy elevado, lo que indicaría un excelente ajuste a los datos, al analizar los parámetros que componen dichos modelos, y en particular el parámetro “a” que representa el peso al nacer de los animales, se observa que los valores de estos parámetros están muy alejados de la realidad, sobrestimándolos

en exceso. En un estudio realizado por Espasandín et al. (2006), en el que se midió el peso al nacer de terneros hijos de vacas de diferentes grupos genéticos, se encontró que terneros puros Aberdeen Angus y Hereford nacieron con un peso vivo de $30,9$ y $33,1 \pm 0,4$ kg, respectivamente, mientras que los terneros cruzas F1 o retrocruzas presentaron un peso al nacer que varió entre $32,1$ y $33,7$ kg.

Además, los modelos de regresión lineal presentan ciertas particularidades que hacen que no sean los mejores modelos para evaluar el crecimiento de los animales a lo largo de su vida, ya que pueden carecer de interpretación biológica. En el caso particular del modelo de primer orden, éste asume que los animales crecen a una tasa constante a lo largo de toda su vida, la cual, para este estudio, se fijó en $0,320$ kg/día. Si bien es posible que durante ciertos períodos de su vida los animales mantengan una tasa de crecimiento constante, esta situación no es sostenible a lo largo de todo el período de crecimiento. En el presente estudio se observó que, entre el nacimiento y los 26 meses de edad, las vaquillonas experimentaron períodos de ganancia, mantenimiento y pérdida de peso. Además, se constató que la tasa de ganancia o pérdida de peso varió entre los períodos. En un trabajo realizado por Dañobeytia et al. (2015), se concluyó que el modelo lineal fue el que mejor se ajustó a los datos para modelar el crecimiento de los terneros desde su nacimiento hasta los seis meses de edad, alcanzando un coeficiente de determinación en torno a $0,95$. Sin embargo, en trabajos en los que se probaron varios modelos matemáticos con el objetivo de modelar las curvas de crecimiento desde el nacimiento hasta los dos años de edad (Bistolfi Lagaxio et al., 2014) o hasta los ocho años de edad (Marín, 2018), se observó que el modelo lineal obtuvo los menores coeficientes de determinación, alcanzando valores de $0,79$ y $0,76$, respectivamente.

El modelo de regresión lineal de segundo orden fue uno de los modelos que, además de alcanzar un elevado coeficiente de determinación, presentó los menores coeficientes AIC y BIC, convirtiéndose en uno de los que mejor se ajustó a la base de datos. Al igual que el modelo lineal, este modelo también mostró el inconveniente de sobrestimar en exceso el peso al nacer de las terneras.

Los inconvenientes mencionados que presentan los modelos de regresión lineal se deben a que la curva de crecimiento de los animales, desde el nacimiento hasta su adultez, se asemeja más a una curva sigmoide (Bavera et al., 2005a). En este sentido, una vez que los animales nacen, crecen a altas tasas de crecimiento, las cuales alcanzan su máximo alrededor de la pubertad y luego comienzan a disminuir inmediatamente después (Lawrence & Fowler, 2002). El período considerado en este período coincide prácticamente con la fase inicial de la curva sigmoide de crecimiento de los animales, durante la cual éstos crecen a tasas aceleradas, lo que pudo haber contribuido a que los modelos de regresión lineal presentaran un muy buen ajuste a los datos. Sin embargo, si se extendiera el período de evaluación hasta los 6-8 años de edad, por ejemplo, es muy probable que estos modelos no reflejaran adecuadamente la desaceleración en la tasa de crecimiento de los animales ni la estabilización del peso adulto. Esto reafirma la necesidad de utilizar modelos más complejos que se asemejen más a la curva sigmoide, cuando se trata de describir el crecimiento de los animales a lo largo de toda su vida.

Por su parte, los modelos de regresión no lineal, a diferencia de los lineales, tienen una interpretación biológica más clara y una mejor capacidad para describir el crecimiento de los animales desde el nacimiento hasta la adultez. En general, estos modelos presentan inicialmente una fase de crecimiento acelerado, seguida de un punto de inflexión a partir del cual el peso aumenta a tasas decrecientes, y finalmente, una etapa de estabilización en

la que, una vez alcanzado el peso adulto o asintótico, el peso de los animales se mantiene constante (Agudelo et al., 2007).

Si bien era de esperar que en el presente estudio los modelos de regresión no lineal mostraran cierta superioridad sobre los modelos de regresión lineal, alcanzando un mayor grado de ajuste a la base de datos, los coeficientes de determinación de ambos grupos de modelos, resultaron ser muy similares entre sí. Las diferencias, aunque relativamente pequeñas, aparecen al considerar los coeficientes AIC y BIC obtenidos por cada modelo. En este sentido, el modelo de Brody fue el que presentó los menores coeficientes de AIC y BIC, siendo éstos muy similares a los alcanzados por el modelo de segundo orden. Por otro lado, el modelo Logístico fue el que registró los mayores valores de dichos coeficientes dentro del grupo de modelos de regresión no lineal. Resultados similares fueron observados por Bistolfi Lagaxio et al. (2014), quienes encontraron que el modelo de Brody fue el modelo que mejor describió la curva de crecimiento de terneros puros y cruza desde el nacimiento hasta los dos años de edad. Asimismo, Marín (2018) también encontró que para hembras de la raza Wagyu, desde el nacimiento hasta los 8 años de edad, el modelo de Brody fue el que presentó el mayor ajuste.

Al igual que los modelos de regresión lineal, los cuatro modelos evaluados dentro del grupo de los modelos de regresión no lineal presentan la problemática de sobreestimar los pesos al nacer de las terneras. Esta sobreestimación en todos los modelos evaluados, sean estos de regresión lineal o no lineal, podría explicarse por la disparidad en el volumen de datos disponibles para peso al nacer y para las edades más tempranas, en comparación con los datos disponibles para edades más avanzadas. En este sentido, el menor volumen de datos de peso al nacimiento en relación con los datos de edades posteriores pudo haber provocado que el ajuste del modelo fuera más preciso para las edades con mayor cantidad de datos, lo que resultó en una sobreestimación de los pesos a edades tempranas.

Por otra parte, según se observa en la Figura 14, prácticamente no hay diferencias en las curvas de crecimiento de las vaquillonas modeladas a partir de cada uno de los modelos de regresión no lineal.

Como se mencionó anteriormente, entre el nacimiento y los 26 meses de edad, las vaquillonas experimentaron períodos de ganancia, mantenimiento y pérdida de peso. Sin embargo, ninguno de los modelos estadísticos evaluados logró capturar estas variaciones en la dinámica de la evolución de peso, lo cual es común cuando los animales son manejados en campo natural. La incapacidad de los modelos para reflejar estas fluctuaciones puede comprometer la toma de decisiones de manejo a tiempo, pudiéndose ver afectando el cumplimiento de los objetivos productivos establecidos para esta categoría.

7. CONCLUSIONES

Vaquillonas hijas de vacas que fueron manejadas sobre campo natural a alta oferta de forraje durante el pre y postparto, alcanzaron un peso vivo promedio superior respecto a las hijas de vacas que fueron manejadas a baja oferta durante ese mismo período. Por su parte, no existieron diferencias en el peso vivo promedio de las vaquillonas según el grupo genético de sus madres.

Las diferencias de peso observadas en la fase de cría, atribuibles al efecto de la oferta de forraje a la que se manejaron las madres de las vaquillonas, se mantuvieron hasta edades más avanzadas, más allá del destete. Sin embargo, las diferencias de peso existentes durante la lactancia entre las vaquillonas, originadas por el grupo genético de sus madres, tienden a desaparecer con el tiempo.

Fue posible modelar las curvas de crecimiento de las vaquillonas desde el nacimiento hasta los 26 meses de edad. Todos los modelos evaluados, sean éstos de regresión lineal o no lineal, alcanzaron un ajuste muy elevado a los datos, con valores de r^2 en torno a 0,93. Con respecto a los coeficientes AIC y BIC, el modelo de segundo orden, seguido por el modelo de Brody, demostraron ser los que mejor se ajustaron a los datos, teniendo en cuenta que fueron los que presentaron menores valores para dichos coeficientes.

A pesar del excelente ajuste que presentaron todos los modelos considerados, ninguno de ellos logró captar la pérdida de peso vivo que experimentan las vaquillonas durante su primer y segundo invierno de vida cuando son manejadas exclusivamente a campo natural sin recibir ningún tipo de suplementación.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, D., Nielsen, M., Schacht, W., & Clark, R. (2000). Designing and conducting experiments for range beef cows. *Journal of Animal Science*, 77(supl. E), 1-18.
https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1526&context=animalsci_facpub
- Agudelo, D., Cerón, M., & Restrepo, L. (2007). Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 157-173. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n2/v20n2a08.pdf>
- Aharoni, Y., Brosh, A., & Holzer, Z. (1997). Photoperiodic effect on live-weight gain of bull calves. *Animal Science*, 65(2), 165-171.
<https://doi.org/10.1017/S1357729800016465>
- Akaike, H. (1987). Factor analysis and AIC. *Psychometrika*, 52(3), 317-332.
<https://doi.org/10.1007/BF02294359>
- Amstalden, M., Cardoso, R. C., Alves, B. R., & Williams, G. L. (2014). Reproduction Symposium: Hypothalamic neuropeptides and the nutritional programming of puberty in heifers. *Journal of Animal Science*, 92(8), 3211-3222.
<https://doi.org/10.2527/jas.2014-7808>
- Amstalden, M., Garcia, M. R., Williams, S. W., Stanko, R. L., Nizielski, S. E., Morrison, C. D., Keisler, D. H., & Williams, G. L. (2000). Leptin gene expression, circulating leptin, and luteinizing hormone pulsatility are acutely responsive to short-term fasting in prepubertal heifers: Relationships to circulating insulin and insulin-like growth factor I. *Biology of Reproduction*, 63(1), 127-133.
<https://doi.org/10.1095/biolreprod63.1.127>
- Arije, G. F., & Wiltbank, J. N. (1971). Age and weight at puberty in Hereford heifers. *Journal of Animal Science*, 33(2), 401-406.
<https://doi.org/10.2527/jas1971.332401x>
- Ayala, W., Carriquiry, E., & Carámbula, M. (1993). Caracterización y estrategias de utilización de pasturas naturales en la región este. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Campo natural: Estrategia invernal, manejo y suplementación* (pp. 1-28).
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4126/1/Ad-49.pdf>

- Azor, P. J., Jiménez, J. M., Valera, M., Salado, F., Álvarez, F., Pérez, J. A., & Molina, A. (2005). Determinación de la curva de crecimiento de los terneros de raza retinta. *Feagas*, (27), 66-72. <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/6247/feagas27-2005.1-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Baeck, J. M. (2000). *Algunas reflexiones sobre la inserción del engorde a corral dentro de los sistemas ganaderos de la región semiárida y árida*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_en_general/33-feedlot_en_sistemas_ganaderos_semiarida_y_arida.pdf
- Baldi, F., Mieres, J., & Banchemo, G. (2008). Suplementación en invernada intensiva: La suplementación sigue siendo una alternativa económicamente viable. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de producción animal* (pp. 39-52). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/529/1/112761150508131605.pdf>
- Batista, C., Velazco, J. I., Baldi, F., Banchemo, G., & Quintans, G. (2019). Efecto de dos niveles de energía en el alimento de último tercio de gestación en bovinos para carne sobre el desempeño de la progenie al nacimiento y pubertad. En G. Quintans & M. Iewdiukow (Eds.), *Primer seminario técnico de Programación Fetal* (pp. 53-63). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13786/1/St-252-p-53-63-Batista.pdf>
- Bavera, G. (2005). *Lactancia y destete definitivo*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria_amamantamiento/34-lactancia_y_destete_definitivo.pdf
- Bavera, G., Bocco, O., Beguet, H., & Petryna, A. (2005a). *Crecimiento, desarrollo y precocidad*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/exterior/05-crecimiento_desarrollo_y_precocidad.pdf
- Bavera, G., Bocco, O., Beguet, H., & Petryna, A. (2005b). *Crecimiento y desarrollo compensatorios*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/exterior/11-crecimiento_y_desarrollo_compensatorios.pdf

- 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>
- Bemhaja, M. (1996). Producción de pasturas en basalto. En D. Risso, E. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Producción y manejo de pasturas* (pp. 231-240). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2986/1/111219240807135431.pdf>
- Bemhaja, M. (2006). Productividad forrajera de comunidades de campo natural. En M. Bemhaja & O. Pittaluga (Eds.), *30 años de investigación en suelos de areniscas* (pp. 33-38). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3008/1/18429250309101451.pdf>
- Beretta, V., & Simeone, A. (1998). Manejo de la alimentación para el entore de vaquillonas a los 15 y 27 meses de edad. *Cangüé*, (12), 23-26. www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/47218/1/BerettaVirginia.pdf
- Beretta, V., & Simeone, A. (2008). Autoconsumo en la alimentación de terneros. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *10ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Una década de investigación para una ganadería más eficiente* (pp. 35-37). UPIC. <http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2008.pdf>
- Beretta, V., Simeone, A., Cepeda, M., Scaiewicz, A., & Villagran, J. (2013). Uso del autoconsumo en la suplementación invernal de terneros con grano entero de maíz sobre Raigrás. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *15ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Simplificando la intensificación ganadera: El autoconsumo* (pp. 33-41). UPIC. <http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2013.pdf>
- Beretta, V., Simeone, A., & Elizalde, J. C. (2010). Suplementación de animales de recría utilizando comederos de autoconsumo en sistemas pastoriles. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *12ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Ganadería a pasto, feedlot e industria frigorífica: ¿Es posible una integración de tipo "ganar-ganar" en la cadena de la carne?* (pp. 46-55). UPIC. <http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2010.pdf>
- Berlanga, M., Molina, A., Luque, A., Delgado, J., & Salado de la Torre, F. (1995). Estimación de la curva de crecimiento en vacuno retinto desde el nacimiento hasta el destete. *Archivos Zootecnia*, 44(166-167), 179-192. https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/3342/24_13_04_166-167_09_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Berretta, E., & Bemhaja, M. (1998). Producción estacional de comunidades naturales sobre suelos de Basalto de la unidad Queguay Chico. En E. Berretta (Ed.), *Seminario de actualización en tecnologías para basalto* (pp. 11-20). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2845/1/15630011107100024.pdf>
- Berretta, E., Pittaluga, O., Brito, G., Pigurina, G., & Risso, D. (1996). Recría de reemplazos en Basalto. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Producción ganadera en basalto* (pp. IX-1-IX-8).
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8159/1/SAD-108-a.pdf>
- Bistolfi Lagaxio, M., Direnna Pérez, N., Fernández Bartaburu, S., & Moltini Paladino, P. (2014). *Curvas de crecimiento en terneros de diferente genotipo desde el nacimiento hasta los dos años de edad* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8732/1/3926bis.pdf>
- Blache, D., Chagas, L. M., & Martin, G. B. (2006). Nutritional inputs into reproductive neuroendocrine control system: A multidimensional perspective. En J. L. Juengel, J. F. Murray, & M. F. Smith (Eds.), *Reproduction in domestic ruminants VI* (pp. 123-139). Nottingham University Press.
<https://www.bioscioproceedings.org/bp/0006/pdf/bp0006rdr8.pdf>
- Borges Pelaggio, M., & Frick Capurro, C. F. (2003). *Factores que afectan la fertilidad de vaquillonas Hereford y Brahman x Hereford en el servicio de 18 meses de edad* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/25846>
- Bossis, I., Wettemann, R. P., Welty, S. D., Vizcarra, J. A., & Spicer, L. J. (2000). Nutritionally induced anovulation in beef heifers: Ovarian and endocrine function during realimentation and resumption of ovulation. *Biology of Reproduction*, 62(5), 1436-1444. <https://doi.org/10.1095/biolreprod62.5.1436>
- Bossis, I., Wettemann, R. P., Welty, S. D., Vizcarra, J. A., Spicer, L. J., & Diskin, M. G. (1999). Nutritionally induced anovulation in beef heifers: Ovarian and endocrine function preceding cessation of ovulation. *Journal of Animal Science*, 77(6), 1536-1546. <https://doi.org/10.2527/1999.7761536x>

- Briano, C., Scarsi, A., Velazco, J. I., Bakker, M., Banchero, G., Meikle, A., & Quintans, G. (2013). Alta y baja asignación de forraje antes del parto: Efectos sobre variables productivas y reproductivas: Resultados preliminares. En G. Quintans & A. Scarsi (Eds.), *Seminario de actualización técnica: Cría Vacuna* (pp. 175-185). INIA.
<https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/18429260813122332.pdf>
- Brito, G., Del Campo, M., Pittaluga, O., & Soares de Lima, J. M. (2005). Una mejor recría para una mayor eficiencia en la producción de carne. *Revista INIA*, (3), 8-11.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4812/1/Revista-INIA-03.pdf>
- Brito, G., & Fiol, C. (2006). Manejo de la recría vacuna en areniscas. En M. Bemhaja & O. Pittaluga (Eds.), *30 años de investigación en suelos de areniscas INIA Tacuarembó* (pp. 121-133). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3008/1/18429250309101451.pdf>
- Campos, F., Terra, G., Santamarina, I., & Pigurina, G. (2002). Comparación entre afrechillo de arroz y una formulación comercial como suplementos para terneras de destete pastoreando campo natural durante el invierno. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Coord.), *Jornada anual de producción animal: Resultados experimentales* (pp. 42-56).
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4116/1/ad-294.pdf;sad>
- Carámbula, M. (1996). *Pasturas naturales mejoradas*. Hemisferio Sur.
- Carstens, G. E., Johnson, D. E., Holland, M. D., & Odde, K. G. (1987). Effects of prepartum protein nutrition and birth weight on basal metabolism in bovine neonates. *Journal of Animal Science*, 65(3), 745-751.
<https://doi.org/10.2527/jas1987.653745x>
- Chenoweth, P. J. (1983). Reproductive management procedures in control of breeding. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production*, 15, 28-31.
- Claramunt, M., Fernández-Foren, A., & Soca, P. (2018). Effect of herbage allowance on productive and reproductive responses of primiparous beef cows grazing on Campos grassland. *Animal Production Science*, 58(9), 1615-1624.
<https://doi.org/10.1071/AN16601>
- Claramunt, M., Meikle, A., & Soca, P. (2020). 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>

- Claramunt, M., Meikle, A., & Soca, P. (2024). Direct and carry over effect of grassland herbage allowance on metabolic hormones and reproduction in primiparous beef cows undergoing temporary waning and flushing. *Animal*, 18(9), Artículo e101261. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101261>
- Claramunt, M., & Rodríguez Palma, R. (2015). *Consultoría sobre actualización y mejora del programa "Modelización de una Explotación Ganadera Extensiva (MEGanE)": Informe de revisión bibliográfica*. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca; Instituto Plan Agropecuario. https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/22227_megane.pdf
- Corah, L. R., Dunn, T. G., & Kaltenbach, C. C. (1975). Influence of prepartum nutrition on the reproductive performance of beef females and the performance of their progeny. *Journal of Animal Science*, 41(3), 819-824. <https://doi.org/10.2527/jas1975.413819x>
- Costa Gómez, A. J., Moreira Torme, R. B., & Scarsi Perata, M. A. (2007). *Efecto del manejo nutricional en el primer invierno sobre la aparición de la pubertad en terneras de raza carnífera tercer año de evaluación* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25494/1/CostaGómezÁlvaroJorge.pdf>
- Cushman, R. A., Mcneel, A. K., & Freetly, H. C. (2014). The impact of cow nutrient status during the second and third trimesters on age at puberty, antral follicle count and fertility. *Livestock Science*, 162, 252-258. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.033>
- 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 evaluación* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8798/1/3991dan.pdf>
- Day, M. L., Imakawa, K., Garcia-Winder, M., Zalesky, D. D., Schanbacher, B. D., Kittok, R. J., & Kinder, J. E. (1984). Endocrine mechanisms of puberty in heifers: Estradiol negative feedback regulation of luteinizing secretion. *Biology of Reproduction*, 31(2), 332-341. <https://doi.org/10.1095/biolreprod31.2.332>

- Delgado, C., Valera, M., Molina, A., Jiménez, J., & Rodero, A. (2000). Circunferencia escrotal como predictor de la capacidad reproductiva en razas de vacunos de carne autóctono: Curvas de crecimiento en el vacuno retinto. *Archivos de Zootecnia*, 49(186), 229-240.
https://www.researchgate.net/publication/43120420_Circunferencia_escrotal_como_predictor_de_la_capacidad_reproductiva_en_razas_de_vacuno_de_carne_autoctono_curvas_de_crecimiento_en_el_vacuno_retinto
- Di Marco, O. N. (1998). *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/exterio/16-fisiologia_del_crecimiento.pdf
- Diskin, M. G., Mackey, D. R., Roche, J. F., & Sreenan, J. M. (2003). Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle. *Animal Reproduction Science*, 78(3-4), 345-370.
[https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(03\)00099-x](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(03)00099-x)
- Do Carmo, M., Espasandin, A., Bentancor, D., Olmos, F., Cal, V., Scarlato, S., Carriquiry, M., & Soca, P. (2013). Cambios en la oferta de forraje y su efecto sobre la productividad primaria y secundaria de sistemas criadores con diversos grupos genéticos bajo pastoreo de campo natural. En P. Soca, A. Espasandin, & M. Carriquiry (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. 43-54). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1370/1/18429161213113554.pdf>
- Do Carmo, M., Sollenberger, L. E., Carriquiry, M., & Soca, P. (2018). Controlling herbage allowance and selection of cow genotype improve cow-calf productivity in Campos grasslands. *The Professional Animal Scientist*, 34(1), 32-41.
<https://doi.org/10.15232/pas.2016-01600>
- Drouillard, J. S., Klopfenstein, T. J., Britton, R. A., Bauer, M. L., Gramlich, S. M., Wester, T. J., & Ferrell, C. L. (1991). Growth, body composition, and visceral organ mass and metabolism in lambs during and after metabolizable protein or net energy restrictions. *Journal of Animal Science*, 69(8), 3357-3375.
<https://doi.org/10.2527/1991.6983357x>

- Du, M., Tong, J., Zhao, J., Underwood, K. R., Zhu, M., Ford, S. P., & Nathanielsz, P. W. (2010). Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. *Journal of Animal Science*, 88(suppl. 13), E51-E60.
<https://doi.org/10.2527/jas.2009-2311>
- Echeverría, J., Rovira, P., & Montossi, F. (2014). Manejo de la alimentación invernal de la recría bovina sobre campo natural. *Revista INIA*, (37), 14-18.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3254/1/Revista-INIA-37-p.-14-pdf.pdf>
- Espasandin, A., Do Carmo, M., López-Mazz, C., Cal, V., Cáceres, O., Bentancur, D., Carriquiry, M., & Soca, P. (2013). Modificaciones en la oferta de forraje de campo natural y del grupo genético de vacas en busca de eficiencia en la cría vacuna. En P. Soca, A. Espasandin, & M. Carriquiry (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. 55-64). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1370/1/18429161213113554.pdf>
- Espasandin, A., Franco, J., Oliveira, G., Bentancur, O., Gimeno, D., Pereyra, F., & Rogberg, M. (2006). Impacto productivo y económico del uso del cruzamiento entre las razas Hereford y Angus en el Uruguay. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *XXXIV Jornadas Uruguayas de Buiatría* (pp. 41-51).
<https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/handle/123456789/2917>
- Fernández Abella, D. H. (1993). *Principios de fisiología reproductiva ovina*. Hemisferio Sur.
- Fiol, C., Quintans, G., & Ungerfeld, R. (2008). La bioestimulación permite disminuir la edad a la pubertad en vaquillonas de carne. En G. Quintans, J. I. Velazco, & G. Roig (Eds.), *Seminario de actualización técnica: Cría vacuna* (pp. 82-89). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3013/1/18429240309132410.pdf>
- Foster, D. (1994). Puberty in the sheep. En E. Knobil & J. D. Neill (Eds.), *The physiology of reproduction* (2nd ed., Vol. 2, pp 411-451). Raven.
- Foster, D. L., Yellon, S. M., & Olster, D. H. (1985). Internal and external determinants of the timing of puberty in the female. *Journal of Reproduction and Fertility*, 75(1), 327-344. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0750327>
- 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., Martin, J. L., Adams, D. C., & Larson, D. M. (2010). Winter grazing system and supplementation of beef cows during late gestation influence heifer progeny. *Journal of Animal Science*, 88(12), 4094-4101. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3039>
- Funston, R. N., Musgrave, J. A., Meyer, T. L., & Larson, D. M. (2012). Effect of calving distribution on cattle progeny performance. *Journal of Animal Science*, 90(13), 5118-5121. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5263>
- Gasser, C. L., Behlke, E. J., Grum, D. E., & Day, M. L. (2006). Effect of timing of feeding a high-concentrate diet on growth and attainment of puberty in early-weaned heifers. *Journal of Animal Science*, 84(11), 3118-3122. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-676>
- Gasser, C. L., Bridges, G. A., Mussard, M. L., Grum, D. E., Kinder, J. E., & Day, M. L. (2006). Induction of precocious puberty in heifers III: Hastened reduction of estradiol negative feedback on secretion of luteinizing hormone. *Journal of Animal Science*, 84(8), 2050-2056. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-638>
- Godfrey, K. M. (2002). The role of the placenta in fetal programming. *Placenta*, 23(suppl. A), S20-S27. <https://doi.org/10.1053/plac.2002.0773>
- Greenwood, P. L., & Cafe, L. M. (2007). Prenatal and pre-weaning growth and nutrition of cattle: Long-term consequences for beef production. *Animal*, 1(9), 1283-1296. <https://doi.org/10.1017/S175173110700050X>
- Gregory, K. E., Laster, D. B., Cundiff, L. V., Koch, R. M., & Smith, G. M. (1978). Heterosis and breed maternal and transmitted effects in beef cattle: II. Growth rate and puberty in females. *Journal of Animal Science*, 47(5), 1042-1053. <https://doi.org/10.2527/jas1978.4751042x>
- Gregory, K. E., Laster, D. B., Cundiff, L. V., Smith, G. M., & Koch, R. M. (1979). Characterization of biological types of cattle-Cycle III: II. Growth rate and puberty in females. *Journal of Animal Science*, 49(2), 461-471. <https://doi.org/10.2527/jas1979.492461x>
- Guggeri, D., Carriquiry, M., Melke, A., & Viñoles, C. (2012). Effect of age at weaning and the plane of nutrition before weaning on growth and somatotrophic axis gene expression in the liver of beef heifers. *Reproduction in Domestic Animals*, 47(Suppl. 4), 566. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2012.02119.x>

- Guggeri, D., Meikle, A., Carriquiry, M., Montossi, F., De Barbieri, I., & Viñoles, C. (2014). Effect of different management systems on growth, endocrine parameters and puberty in Hereford female calves grazing campos grassland. *Livestock Science*, 167, 455-462. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.06.026>
- Gutiérrez, V., Espasandin, C., Astessiano, A. L., Casal, A., López-Mazz, C., & Carriquiry, M. (2012). Calf foetal 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*, 97(4), 720-731. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01314.x>
- Hafez, E. S. E. (1996). *Reproducción e inseminación artificial en animales* (6^a ed.). McGraw-Hill.
- Hammond, J. (1960). *Farm animals: Their breeding, growth and inheritance* (3rd ed.). E. Arnold.
- Hornick, J. L., Van Eenae, C., Gérard, O., Dufrasne, I., & Istasse, L. (2000). Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domestic Animal Endocrinology*, 19(2), 121-132. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(00\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(00)00072-2)
- Houghton, P. L., Lemenager, R. P., Horstman, L. A., Hendrix, K. S., & Moss, G. E. (1990). Effects of body condition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. *Journal of Animal Science*, 68(5), 1438-1446. <https://doi.org/10.2527/1990.6851438x>
- Imakawa, K., Day, M. L., Zalesky, D. D., Clutter, A., Kittok, R. J., & Kinder, J. E. (1987). Effects of 17 beta-estradiol and diets varying in energy on secretion of luteinizing hormone in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 64(3), 805-815. <https://doi.org/10.2527/jas1987.643805x>
- Jennings, T. D., Gonda, M. G., Underwood, K. R., Wertz-Lutz, A. E., & Blair, A. D. (2016). The influence of maternal nutrition on expression of genes responsible for adipogenesis and myogenesis in the bovine fetus. *Animal*, 10(10), 1697-1705. <https://doi.org/10.1017/S1751731116000665>
- Kamalzadeh, A., Koops, W. J., Van Bruchem, J., Tamminga, S., & Zuart, D. (1997). Feed quality restriction and compensatory growth in growing sheep: Feed intake, digestion, nitrogen balance and modelling changes in feed efficiency. *Livestock Production Science*, 52(3), 209-217. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00125-5](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00125-5)

- Kinder, J. E., Day, M. L., & Kittok, R. J. (1987). Endocrine regulation of puberty in cows and ewes. *Journal of Reproduction and Fertility*, 34, 167-186.
<https://www.bioscioproceedings.org/bp/0009/pdf/bp0009rdr13.pdf>
- King, R. G., Kress, D. D., Anderson, D. C., Dooborns, D. E., & Burfening, P. J. (1983). Genetic parameters in Hereford for puberty in heifers and scrotal circumference in bulls. *Proceedings Western Section American Society of Animal Science*, 34, 11-15.
- Kurz, S. G., Dyer, R. M., Hu, Y., Wright, M. D., & Day, M. L. (1990). Regulation of luteinizing hormone secretion in prepubertal heifers fed an energy-deficient diet. *Biology of Reproduction*, 43(3), 450-456. <https://doi.org/10.1095/biolreprod43.3.450>
- Laporta, J. (2011). *Aspectos moleculares de los mecanismos involucrados en la interacción nutrición-reproducción en bovinos de carne de diferente tipo genético* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/1846>
- 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://doi.org/10.2527/jas.2008-1323>
- Laster, D. B., Glimp, H. A., & Gregory, K. E. (1972). Age and weight at puberty and conception in different breeds and breed-crosses of beef heifers. *Journal of Animal Science*, 34(6), 1031-1036. <https://doi.org/10.2527/jas1972.3461031x>
- Lawrence, T. L. J., & Fowler, V. R. (2002). *Growth of farm animals* (2nd ed.). CABI.
- LeMaster, C. L., Taylor, R. K., Ricks, R. E., & Long, N. M. (2016). The effects of late gestation maternal nutrient restriction with or without protein supplementation on endocrine regulation of newborn and postnatal beef calves. *Theriogenology*, 87, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.Theriogenology.2016.08.004>
- Lesmeister, J. L., Burfening, P. J., & Blackwell, R. L. (1973). Date of first calving in beef cows and subsequent production. *Journal of Animal Science*, 36(1), 1-6.
<https://doi.org/10.2527/jas1973.3611>

- López Valiente, S., Maresca, S., Rodríguez, A. M., Long, N. M., Quintans, G., & Palladino, R. A. (2019). Efecto de la restricción proteica en vacas multíparas durante la gestación media y tardía en el crecimiento y fertilidad de la progenie femenina. En G. Quintans & M. Iewdiukow (Eds.), *Primer seminario técnico de programación fetal* (pp. 45-51). INIA. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/ST-252-2019.pdf>
- Luzardo, S., Montossi, F., & Lagormasino, X. (2012). Uso de la suplementación en recrias sobre campo natural. *Revista INIA*, (28), 8-12. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4839/1/revista-INIA-28.pdf>
- Maresca, S., López Valiente, S., & Rodríguez, A. (2014). *Programación fetal: Nutrición durante la gestación y efectos a largo plazo sobre la descendencia* [Contribución]. Jornada Ganadera de la Cuenca del Salado 2014, Chascomús.
- Maresca, S., López Valiente, S. O., Rodríguez, A. M., Long, N. M., Pavan, E., & Quintans, G. (2019). Efecto de la restricción proteica de vacas durante la gestación tardía sobre el crecimiento postnatal, el metabolismo de glucosa - insulina y la concentración de IGF-1 de la descendencia. En G. Quintans & M. Iewdiukow (Eds.), *Primer seminario técnico de programación fetal* (pp. 31-43). INIA. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/ST-252-2019.pdf>
- Marín, M. F. (2018). *Curvas de crecimiento de hembras Wagyu desde el nacimiento hasta los ocho años* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/28813/1/MarínLacaMaríaFederica.pdf>
- Martin, J. L., Vonnahme, K. A., Adams, D. C., Lardy, G. P., & Funston, R. N. (2007). Effect of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *Journal of Animal Science*, 85(3), 841-847. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-337>
- McCarty, K. J., & Long, N. M. (2019). Los orígenes de la programación o desarrollo fetal en ganado vacuno y algunas áreas de investigación a futuro. En G. Quintans & M. Iewdiukow (Eds.), *Primer seminario técnico de programación fetal* (pp. 3-20). INIA. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/ST-252-2019.pdf>
- Montossi, F., Pigurina, G., Santamarina, I., & Berretta, E. (2000). *Selectividad animal y valor nutritivo de la dieta de ovinos y vacunos en sistemas ganaderos: Teoría y práctica*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2856/1/15630081007130656.pdf>

- Montossi, F., Silveira, C., Soares de Lima, J. M., Luzardo, S., & De Barbieri, I. (2010). Manejo del exceso de forraje en el período otoño-invernal: ¡Cantidad no es calidad! *Revista INIA*, (22), 6-10.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4832/1/revista-INIA-22.pdf>
- Montossi, F., & Soares de Lima, J. M. (2020). Suplementación invernal de la recría bovina sobre campo natural: Uso eficiente de la mano de obra y su impacto productivo y económico. *Revista INIA*, (61), 18-22.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/14488/1/Rev-INIA-61-Junio-2020-p-18-22.pdf>
- Morales Grosskopf, H. M., & Montes Narbondo, E. (Eds.). (2015). *Recría de hembras en vacunos de carne: El principio del éxito*. Instituto Plan Agropecuario.
https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/22230_22230_recria.pdf
- Morgan, J. H. L. (1972). Effect of plane of nutrition in early life on subsequent liveweight gain, carcass and muscle characteristics and eating quality of meat in cattle. *The Journal of Agriculture Science*, 78(3), 417-423.
<https://doi.org/10.1017/S0021859600026332>
- Myers, S. E., Faulkner, D. B., Ireland, F. A., & Parrett, D. F. (1999). Comparison of three weaning ages on cow-calf performance and steer carcass traits. *Journal of Animal Science*, 77(2), 323-329. <https://doi.org/10.2527/1999.772323x>
- Nepomuceno, D. D., Pires, A. V., Ferraz, M. V. C., Biehl, M. V., Gonçalves, J. R. S., Moreira, E. M., & Day, M. L. (2017). Effect of prepartum dam supplementation, creep-feeding and post- weaning feedlot on age at puberty in Nellore heifers. *Livestock Science*, 195, 58-62. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.11.008>
- Neville, W. E., & McCormik, W. C. (1981). Performance of early and normal weaned beef calves and their dams. *Journal of Animal Science*, 52(4), 715-724.
<https://doi.org/10.2527/jas1981.524715x>
- Nilsson, E. E., & Skinner, M. K. (2009). Progesterone regulation of primordial follicle assembly in bovine fetal ovaries. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 313(1-2), 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2009.09.004>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario estadístico agropecuario 2023*. MGAP.
- Olazabal, J. L., & San Martín, F. H. (2008). *Crecimiento compensatorio*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://es.scribd.com/document/733613525/1-Crecimiento-Compensatorio>

- O'Mary, C. C., & Dyer, I. A. (1978). *Commercial beef cattle production* (2nd ed.). Lea & Fabiger.
- Orcasberro, R. (1997). Manejo para mejorar la eficiencia reproductiva de los rodeos de cría. *Revista del Plan Agropecuario*, (74), 29-33.
- 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://doi.org/10.2527/1993.71113138x>
- Paparamborda, I., Dogliotti, S., Soca, P., & Rossing, W. A. H. (2023). A conceptual model of cow-calf systems functioning on native grasslands in a subtropical region. *Animal*, 17(10), Artículo e100953. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100953>
- Parodi, A., Pi, S., & Riera, S. (2004). *Efecto de la oferta de campo natural mejorado con Lotus pedunculatus cv Grassland Maku sobre la producción de forraje y performance de vacunos en crecimiento* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/36578/1/ParodiAlberto.pdf>
- Pigurina, G. (1994). Uso del pastoreo de avena por horas como suplemento invernal de terneras de destete. En G. Quintans & G. Pigurina (Coords.), *Bovinos para carne: Avances en suplementación de la recría e invernada intensiva* (pp. 2-32-2-37). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/357/1/14445101212094954.pdf>
- Pigurina, G. (1995). Uso del pastoreo de avena por horas para la suplementación invernal de terneras de destete. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Producción y utilización de forraje* (pp. 13-16).
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12419/1/sad65p13-16.pdf>
- Pigurina, G., Brito, G., Pittaluga, O., Scaglia, G., Risso, D. F., & Berretta, E. J. (1998). Alimentación de la recría en vacunos. *El País agropecuario*, 23-26.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10376/1/40-40.pdf>
- Pittaluga, O., & Rovira, J. (1968). Influencia del nivel nutricional pre-destete sobre el crecimiento y pubertad de terneras Hereford. *Boletín Técnico (EEMAC)*, 5(2), 68-78.
- Pordomingo, A. J. (2003). *Suplementación con granos a bovinos en pastoreo*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/67-suplementacion_con_granos_en_pastoreo.pdf

- Posada, S., Rosero, R., Rodríguez, N., & Costa, A. (2011). Estimación de parámetros de curvas de crecimiento de ganado Nellore criado en confinamiento. *Revista MVZ Córdoba*, 16(3), 2701-2710. <https://www.redalyc.org/pdf/693/69322399007.pdf>
- Quintans, G. (1994). Suplementación de terneras y vaquillonas con afrechillo de arroz desgrasado. En G. Quintans & G. Pigurina (Eds.), *Bovinos para carne: Avances en suplementación de la recría e invernada intensiva* (pp. 2-13-2-21). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/357/1/14445101212094954.pdf>
- Quintans, G. (2002). Manejo de la recría vacuna en sistemas ganaderos. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Seminario de actualización técnica cría y recría ovina y vacuna* (pp. 43-52). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12984/1/sad288.pdf>
- Quintans, G. (2006). Recría vacuna: Preparándonos para el invierno. *Revista INIA*, (6), 2-5. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4815/1/Revista-INIA-06.pdf>
- Quintans, G. (2008). Algunas estrategias para disminuir la edad al primer servicio en vaquillonas: Recría vacuna: Antecedentes y nuevos enfoque. En G. Quintans, J. I. Velazco, & G. Roig (Eds.), *Seminario de actualización técnica: Cría vacuna* (pp. 53-55). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3013/1/18429240309132410.pdf>
- Quintans, G. (2016). La cría vacuna: Sistema ganadero sobre campo natural (Parte 1). En Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (Ed.), *Producción animal sostenible en pastoreo sobre campo natural* (pp. 98-102). INIA; IPA; Secretariado Uruguayo de la Lana; Universidad de la República <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13559/1/Campo-natural-2016.pdf>
- Quintans, G., Pigurina, G., & Paiva, N. (1999). Rodeo de cría: Alternativas de manejo para la zona este. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de producción animal: Resultados experimentales* (pp. 1-23). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16913/1/sad-195-Rodeo-de-cria-alternativas-de-manejo-para-zona-Este.pdf>
- Quintans, G., & Roig, G. (2008). Principales factores que afectan la aparición de la pubertad en vaquillonas de razas carniceras. En G. Quintans, J. I. Velazco, & G. Roig (Eds.), *Seminario de actualización técnica: Cría vacuna* (pp. 56-58). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3013/1/18429240309132410.pdf>

- Quintans, G., & Vaz Martins, D. (1994). Efecto de diferentes fuentes de suplemento sobre el comportamiento de terneras. En G. Quintans & G. Pigurina (Eds.), *Bovinos para carne: Avances en suplementación de la recría e invernada intensiva* (pp. 2-8-2-12). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/357/1/14445101212094954.pdf>
- Quintans, G., Vaz Martins, D., & Carriquiry, E. (1993). Efecto de la suplementación invernal sobre el comportamiento de terneras. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Campo natural: Estrategia invernal, manejo y suplementación* (pp. 35-53).
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4126/1/Ad-49.pdf>
- Quintans, G., Vaz Martins, D., & Carriquiry, E. (1994). Alternativas de suplementación de vaquillonas. En G. Quintans & G. Pigurina (Eds.), *Bovinos para carne: Avances en suplementación de la recría e invernada intensiva* (pp. 2-2-2-7). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/357/1/14445101212094954.pdf>
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2008.12.007>
- Risso, D., & Berretta, E. (1996). Mejoramiento de campos en suelos sobre Cristalino. En D. Risso, E. Berretta, & A. Morón (Eds.), *Producción y manejo de pasturas* (pp. 193-211). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8492/1/ST80-p.193-211.pdf>
- Rovira, J. (1996). *Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo*. Hemisferio Sur.
- Rovira, J. (2008). *Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo*. Hemisferio Sur.
- Ryan, W. J., Williams, I. H., & Moir, R. J. (1993). Compensatory growth in sheep and cattle: II. Changes in body composition and tissue weights. *Australian Journal of Agricultural Research*, 44(7), 1623-1633. <https://doi.org/10.1071/AR9931623>
- Scaglia, G. (1996). Alternativas de alimentación para la recría. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada anual de producción animal* (pp. 63-68).
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4015/1/JPA-PALO-A-PIQUE-1996-14445020408112635.pdf>
- Scaglia, G. (2004). *Alimentación preferencial del ternero*. INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2783/1/15630031107112923.pdf>

- Schillo, K. K., Dierschke, D. J., & Hauser, E. R. (1982). Regulation of luteinizing hormone secretion in prepuberal heifers: Increased threshold to negative action of estradiol. *Journal of Animal Science*, 54(2), 325-336.
<https://doi.org/10.2527/jas1982.542325x>
- Schillo, K. K., Hall, J. B., & Hileman, S. M. (1992). Effects of nutrition and season on the onset of puberty in the beef heifer. *Journal of Animal Science*, 70(12), 3994-4005.
<https://doi.org/10.2527/1992.70123994x>
- Schoppee, P. D., Armstrong, J. D., Harvey, R. W., Whitacre, M. D., Felix, A., & Campbell, R. M. (1996). Immunization against growth hormone releasing factor or chronic feed restriction initiated at 3.5 months of age reduces ovarian response to pulsatile administration of gonadotropin-releasing hormone at 6 months age and delays onset of puberty in Heifers. *Biology of Reproduction*, 55(1), 87-98.
<https://doi.org/10.1095/biolreprod55.1.87>
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, 6(2), 461-464.
https://sites.stat.washington.edu/courses/stat527/s13/readings/ann_stat1978.pdf
- Short, R. E., & Bellows, R. A. (1971). Relationships among weight gains, age at puberty and reproductive performance in heifers. *Journal of Animal Science*, 32(1), 127-131. <https://doi.org/10.2527/jas1971.321127x>
- Short, R. E., Bellows, R. A., Staigmiller, R. B., Berardinelli, J. G., & Custer, E. E. (1990). Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*, 68(3), 799-816.
<https://doi.org/10.2527/1990.683799x>
- Simeone, A., & Beretta, V. (2002). *Destete precoz en ganado de carne*. Hemisferio Sur.
- Simeone, A., & Beretta, V. (2004). *Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: "Manejo nutricional en ganado de carne"*. UPIC.
<http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2004.pdf>
- Soares de Lima, J. (2009). *Modelo bioeconómico para la evaluación del impacto de la genética y otras variables sobre la cadena cárnica vacuna en Uruguay* [Disertación doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. RiuNet.
<https://riUNET.upv.es/bitstream/handle/10251/6030/tesisUPV3113.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Soares de Lima, J. M., & Viñoles, C. (2010). Efecto del peso al destete y al entore sobre la fertilidad de vaquillonas Hereford. *Agrociencia (Uruguay)*, 14(3), 163.
<https://doi.org/10.31285/AGRO.14.829>
- Soca, P., Bermúdez, R., Ayala, W., Mancuello, C., Arrarte, D., Pereira, G., Leiva, G., Fernández, M., & Hernández, P. (2001). Utilización de mejoramientos de campo con Lotus El Rincón y Lotus Maku para la recría vacuna en la zona este del país. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de difusión de resultados: Utilización de mejoramientos de campo con Lotus El Rincón y Lotus Maku para la recría vacuna en la zona este* (pp. 7-22).
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16295/1/Jornada-Utilizacion-de-mejoramientos-zona-este-diciembre-2001.pdf>
- Spitzer, J. C., Morrison, D. G., Wettemann, R. P., & Faulkner, L. C. (1995). Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows. *Journal of Animal Science*, 73(5), 1251-1257. <https://doi.org/10.2527/1995.7351251x>
- Stalker, L. A., Adams, D. C., Klopfenstein, T. J., Feuz, D. M., & Funston, R. N. (2006). Effects of pre-and postpartum nutrition on Reproduction in spring calving cows and calf feedlot performance. *Journal of Animal Science*, 84(9), 2582-2589.
<https://doi.org/10.2527/jas.2005-640>
- Tudor, G. D., & O'Rourke, P. K. (1980). The effect of pre and postnatal nutrition on the growth of beef cattle: II. The effect of severe restriction in early postnatal life on growth and feed efficiency during recovery. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31(1), 179-189. <https://doi.org/10.1071/AR9800179>
- Van Lier, E., & Regueiro, M. (2008). *Digestión en retículo-rumen*. Universidad de la República. <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-la-republica/anatomia/repartido-digestion-en-reticulo-rumen/7083212>
- Viñoles, C. (2016). Desafíos del entore de 14 meses. *Revista INIA*, (44), 6-9.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5571/1/revista-INIA-44.pdf>
- Viñoles, C., Guggeri, D., Cuadro, P., Cuadro, R., Jaurena, M., De Barbieri, I., Brito, G., & Montossi, F. (2014a). Efecto de la edad al destete y la alimentación preferencial sobre la pubertad en terneras Hereford. En J. Berretta, F. Montossi, & G. Brito (Eds.), *Alternativas tecnológicas para los sistemas ganaderos del basalto* (pp. 225-233). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3878/1/st-217-2014.pdf>

- Viñoles, C., Guggeri, D., Cuadro, P., Cuadro, R., Jaurena, M., De Barbieri, I., Brito, G., & Montossi, F. (2014b). Efecto de la edad al destete y la suplementación al pie de la madre sobre la fertilidad al primer y segundo servicio en vaquillonas Hereford. En E. Berretta, F. Montossi, & G. Brito (Eds.), *Alternativas tecnológicas para los sistemas ganaderos del basalto* (pp. 235-244). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3878/1/st-217-2014.pdf>
- Viñoles, C., Jaurena, M., De Barbieri, I., Do Carmo, M., & Montossi, F. (2013). Effect of creep feeding and stocking rate on the productivity of beef cattle grazing grasslands. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 56(4), 279-287.
<https://doi.org/10.1080/00288233.2013.840320>
- Viñoles, C., & Santa Cruz, R. (2019). Introducción: Recría de vaquillonas: Período determinante de su productividad futura. En C. Viñoles & R. Santa Cruz (Eds.), *Recuento de folículos antrales y concentraciones de hormona anti-Mülleriana: Dos potenciales herramientas de selección de reemplazos* (pp. 1-16). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12579/1/st-249-2019.pdf>
- Viñoles, C., Soares de Lima, J., Montossi, F., & Giorello, D. (2012). Alternativas para incrementar la eficiencia de los sistemas de cría: Suplementación exclusiva del ternero al pie de la madre (creep feeding). *Revista INIA*, (29), 5-8.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4841/1/revista-INIA-29.pdf>
- Warner, J. M., Martin, J. L., Hall, Z. C., Kovarik, L. M., Hanford, K. J., & Rasby, R. J. (2011). The effects of supplementing beef cows grazing cornstalk residue with a dried distillers grain based cube on cow and calf performance. *The Professional Animal Scientist*, 27(6), 540-546. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30536-2](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30536-2)
- Warrington, B. G., Byers, F. M., Schelling, G. T., Forrest, D. W., Baker, J. F., & Greene, L. W. (1988). Gestation nutrition, tissue exchange and maintenance requirements of heifers. *Journal of Animal Science*, 66(3), 774-782.
<https://doi.org/10.2527/jas1988.663774x>
- Weary, D., Jasper, J., & Hötzel, M. (2008). Understanding waning distress. *Applied Animal Behaviour Science*, 110(1-2), 24-41.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.03.025>
- Willham, R. L. (1972). The role of maternal effects in animal breeding: III. Biometrical aspects of maternal effects in animals. *Journal of Animal Science*, 35(6), 1288-1293. <https://doi.org/10.2527/jas1972.3561288x>

- Williams, G. L. (1990). Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle. *Journal of Animal Science*, 68(3), 831-852. <https://doi.org/10.2527/1990.683831x>
- Wilson, P. N., & Osbourn, D. F. (1960). Compensatory growth after undernutrition in mammals and birds. *Biological Reviews*, 35(3), 324-361. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1960.tb01327.x>
- Wiltbank, J. N., & Remmenga, E. E. (1982). Calving difficulty and calf survival in beef cows fed two energy levels. *Theriogenology*, 17(6), 587-602. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(82\)90057-7](https://doi.org/10.1016/0093-691X(82)90057-7)
- Wiltbank, J. N., Rowden, W. W., Ingalls, J. E., Gregory, K. E., & Koch, R. M. (1962). Effect of energy level on reproductive phenomena of mature Hereford cows. *Journal of Animal Science*, 21(2), 219-225. <https://doi.org/10.2527/jas1962.212219x>
- Wiltbank, M. C., Gümen, A., & Sartori, R. (2002). Physiological classification of anovulatory conditions in cattle. *Theriogenology*, 57(1), 21-52. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(01\)00656-2](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(01)00656-2)

9. ANEXOS**Anexo A***Número de vaquillonas según el año de nacimiento*

Año de nacimiento	Número de vaquillonas
2007	20
2008	41
2009	29
2010	6
2011	36
2012	29
2013	7
2014	14