



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Facultad de Veterinaria
Universidad de la República
Uruguay

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**IMPACTO DE DIFERENTES PLANOS DE ALIMENTACIÓN POS-DESLECHE
EN TERNERAS HOLSTEIN DE REEMPLAZO**

EMANUEL DE LA QUINTANA RIVOIR

TESIS DE MAESTRÍA EN NUTRICIÓN DE RUMIANTES

**URUGUAY
2017**



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**IMPACTO DE DIFERENTES PLANOS DE ALIMENTACIÓN POS-DESLECHE
EN TERNERAS HOLSTEIN DE REEMPLAZO**

EMANUEL DE LA QUINTANA RIVOIR

Alejandro Mendoza, Ing. Agr. MSc. PhD.
Director de Tesis

José Luis Repetto, Prof. PhD.
Co-director de Tesis

2017

INTEGRACIÓN DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

2017

ACTA DE DEFENSA DE TESIS

INFORME DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTOS

- A Cecilia Cajarville y José Luis Repetto.
- A los tesisistas que me acompañaron en este trabajo y pusieron muchas horas y ganas para que esto saliera adelante.
- Al equipo de Lechería de INIA La Estanzuela en los cuales encontré amigos.
- A el “Lobo”, Tomas, María, Bruno y Raquel por su dedicación y amistad junto a cada estudiante que pasa por Lechería y en los cuales encontré una amistad.
- A la ANII.
- A Alejandro Mendoza, persona por la cual esto pudo concretarse y me brindo siempre su apoyo incondicional.
- A mi familia y amigos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES ESPECÍFICOS.....	3
La recria en los sistemas de producción de leche.....	3
Crecimiento y desarrollo en vaquillonas.....	4
<i>Crecimiento y desarrollo corporal.....</i>	<i>4</i>
<i>Crecimiento y desarrollo de la glándula mamaria.....</i>	<i>6</i>
Pubertad en las vaquillonas.....	7
<i>Efecto del plano de alimentación sobre la llegada a la pubertad.....</i>	<i>8</i>
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
HIPÓTESIS.....	12
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
Animales y tratamientos.....	14
Mediciones.....	15
<i>Consumo de nutrientes.....</i>	<i>15</i>
<i>Tasa de consumo.....</i>	<i>16</i>
<i>Comportamiento.....</i>	<i>16</i>
<i>Hormonas y glucosa en sangre.....</i>	<i>17</i>
<i>Pubertad.....</i>	<i>17</i>
Análisis estadístico.....	18
RESULTADOS.....	19
DISCUSIÓN.....	26
CONCLUSIONES.....	31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
ANEXO.....	I

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Ingredientes de la ración totalmente mezclada y composición química de los alimentos usados (datos expresados en base seca, salvo que se indique lo contrario)....	15
Cuadro II. Consumo de nutrientes durante el período de aplicación, al día 60 y 120 de iniciado el experimento.....	19
Cuadro III. Variables de comportamiento (expresados como porcentaje del total de observaciones), y tasa de consumo de materia seca durante las primeras 8 h luego del inicio de la primera sesión de alimentación, en el período de aplicación.....	21
Cuadro IV. Peso y variables morfológicas medidas en el período de aplicación o residual.....	23
Cuadro V. Ecuaciones de evolución de peso y medidas morfológicas en el período de aplicación o residual ($Y = \text{intercepto} + \text{día} \times \beta_1$). Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar de cada parámetro de la ecuación correspondiente.....	23
Cuadro VI. Concentraciones sanguíneas de IGF-I, insulina y glucosa medidas en el período de aplicación o durante el período residual.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la tasa de consumo de materia seca (MS) medida a la mitad (A) o al final (B) del período de aplicación. TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 1000-1100 g/día.....	20
Figura 2. Comportamiento de comer, expresado como proporción del total de observaciones, medido a la mitad (A) o al final (B) del período de aplicación. TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 1000-1100 g/día. Los asteriscos en cada hora indican la existencia de al menos una diferencia entre tratamientos ($P \leq 0,05$).....	22
Figura 3. Concentración sanguínea de IGF-I en el período de aplicación (barra negra) o residual (barra blanca). En el período de aplicación se detectó una tendencia hacia un efecto del tratamiento ($P = 0,08$), y en el período residual se detectó una tendencia hacia una interacción entre tratamiento y momento de medición ($P = 0,06$). Las cruces en cada día indican la existencia de al menos una diferencia entre tratamientos ($0,05 < P \leq 0,10$). TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 1000-1100 g/día.....	24
Figura 4. Proporción de vaquillonas púberes según edad. TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 1000-1100 g/día. Para una determinada edad, los asteriscos indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos.....	25

RESUMEN

Se realizó un experimento para evaluar el efecto del plano de alimentación post-desleche sobre el comportamiento animal, el crecimiento y el desarrollo corporal, y la llegada a la pubertad en bovinos. Se usaron 40 vaquillonas Holstein deslechadas, con 77,7 días de vida y 77,5 kg de peso vivo en promedio, que fueron asignadas a 2 tratamientos, correspondientes a 2 planos de alimentación para lograr 2 ganancias de peso vivo teóricas distintas: 700-800 (TMEDIA) o 1000-1100 (TALTA) g/día. Para ello, los animales se alimentaron con una misma ración totalmente mezclada, que fue ofrecida en distinta cantidad de forma de lograrlas ganancias buscadas. El diseño usado fue de corrales, con 5 repeticiones de 4 animales cada una por tratamiento. Los tratamientos se aplicaron durante 120 días consecutivos, y durante este período se realizaron mediciones de comportamiento, consumo de nutrientes, peso vivo y otras medidas morfológicas, y se determinaron las concentraciones sanguíneas de IGF-I, insulina y glucosa. Al finalizar la aplicación de los tratamientos todos los animales se manejaron como un único grupo para evaluar los efectos residuales durante 150 días, y se determinó la entrada a la pubertad mediante ultrasonografía trans-rectal. Las vaquillonas TALTA tuvieron una mayor ganancia de peso (799 vs. 597 g/día) y mediciones de variables morfológicas como altura a la cruz y ancho entre caderas que las TMEDIA, y una mayor concentración sanguínea de IGF-I, aunque no de insulina o glucosa, durante el período de aplicación de los tratamientos. Sin embargo, no se evidenciaron diferencias en las tasas de ganancia o en la concentración de IGF-I durante el período de evaluación residual. Si bien no hubo diferencias en la proporción de vaquillonas que llegaron a la pubertad, la velocidad con que las vaquillonas TMEDIA llegaron a la pubertad fue más rápida respecto a las TALTA. Se concluye que aumentar el nivel de alimentación de vaquillonas luego del desleche tuvo efectos marcados sobre el crecimiento y el desarrollo corporal en el corto plazo, pero efectos más moderados en el mediano plazo, una vez que todos los animales se manejaron de la misma manera.

SUMMARY

An experiment was carried out to evaluate the effect of the plane of nutrition on the behavior, growth and onset of puberty of dairy heifers during the postweaning period. Forty Holstein heifers, with 77.7 average days of life and 77.5 kg of average body weight, were assigned to 2 treatments, corresponding to 2 feeding levels to achieve 2 different theoretical body weight gains: 700-800 (TMEDIA) or 1000-1100 (TALTA) g/day. The animals were fed with the same total mixed ration, which was offered in different amounts to achieve the desired weight gains. A pen-design was used, with 5 replications of 4 animals each per treatment. Treatments were applied for 120 consecutive days, and during this period measurements were made on behavior, nutrient intake, body weight and other morphological measures, and the blood concentrations of IGF-I, insulin and glucose were determined. Once the treatments were finished, all the animals were managed as a single group to evaluate the residual effects, and the onset of puberty was determined by transrectal ultrasonography. Heifers in TALTA had a higher daily gain of body weight (799 vs. 597 g/day) and other morphological traits such as withers height and hip width than TMEDIA heifers, as well as higher blood concentrations of IGF-I but not of insulin or glucose, during the period when treatments were applied. However, no differences were observed due to treatments on daily gains or IGF-I concentrations during the residual period. Although there were no differences in the proportion of heifers that achieved puberty, TMEDIA heifers achieved puberty at a faster rate than TALTA. It is concluded that a higher feeding level after weaning had marked effects on short term growth of dairy heifers, but more moderate effects on the long term once the animals were all managed as a single group.

INTRODUCCIÓN

La producción de leche en Uruguay creció a tasas superiores al 5% anual en la última década. Este aumento notorio en la producción fue explicado en parte por un aumento de la producción individual, y por una mejora en la relación vaca ordeñe / vaca masa en el rodeo. Adicionalmente, en este período ocurrió un aumento en la carga animal, ya que el tamaño del rodeo nacional no aumentó de forma significativa en este período, mientras que el área dedicada al rubro disminuyó de 852.000 ha en 2006 a 811.000 ha en 2013, debido principalmente a un gran avance de la agricultura y en menor medida de la forestación (DIEA, 2014).

Sin embargo, en paralelo a estos cambios mencionados, dentro de los sistemas productivos existen actividades que han sido históricamente descuidadas, como lo es la recría de los futuros reemplazos. La forma en que se realiza la recría en nuestro país determina que ocurran largos períodos improductivos en estas hembras, lo que se refleja en una edad promedio al primer parto de 32,2 meses de edad (Ing. Agr. Fernando Sotelo, com. pers.), mayor que la recomendada desde el punto de vista biológico y económico, que es alrededor de 24 meses (Berra, 2005).

Las vaquillonas que se recrían hoy son los animales que a futuro reemplazarán a las vacas que se eliminan anualmente del rodeo lechero. Por lo tanto, es necesario un adecuado manejo de la nutrición para permitir que esas vaquillonas tengan un adecuado crecimiento y sean capaces de expresar todo su potencial productivo una vez que comiencen a producir leche. En particular, el manejo que reciban los animales durante la recría es muy importante ya que esta fase, según Di Marco (1994), constituye una de las etapas donde son más eficientes en convertir el alimento en músculo y hueso. Adicionalmente, el manejo nutricional que reciban los animales en esta etapa puede tener efectos a largo plazo que pueden impactar sobre el desempeño de los animales, de forma positiva o negativa.

Por ejemplo, las restricciones en la cantidad y calidad de alimento consumido por las vaquillonas no solo enlentecen su crecimiento en primera instancia, sino que prolongan la edad a la cual reciben el primer servicio, y además resultan en animales con un bajo peso al parto. Más específicamente, el momento en que ocurre la pubertad es un factor que tiene influencia sobre la edad con que se decide servir por primera vez al animal y por lo tanto, indirectamente contribuye a definir su vida productiva (Le Cozler et al., 2008). La nutrición es un factor que afecta la edad con que los animales llegan a la pubertad, si bien los mecanismos fisiológicos aún no están claramente definidos (Schillo, 2011), y diversos trabajos muestran que vaquillonas de razas carniceras o lecheras que reciben un mejor plano de alimentación alcanzan la pubertad antes que sus contrapartes que se manejaron con un plano más bajo de alimentación (Yelich et al., 1996; Lammers et al., 1999).

Por otra parte, una tasa de crecimiento muy acelerada durante la recría, y específicamente la etapa pre-puberal, puede tener efectos negativos sobre el desarrollo de la glándula mamaria, que podrían afectar la capacidad futura de producción de leche de la vaquillona. Esto es debido a que cuando el consumo de energía se incrementa, la tasa de deposición de proteína se vuelve limitante, y como consecuencia el exceso de energía se deposita como grasa, con el consiguiente efecto adverso sobre el crecimiento de la glándula mamaria (NRC, 2001). Así, la ganancia diaria de peso considerada

óptima para vaquillonas con un peso adulto de 600 a 650 kg es de entre 800 y 900 g/d; ganancias mayores causarían altas deposiciones grasas en los tejidos (Zanton & Heinrichs, 2005). Sin embargo, no queda claro que ocurriría con el futuro desempeño de los animales cuando se manejan con dietas que tienen una relación proteína – energía mayor a la tradicionalmente recomendada, que podría mitigar la excesiva deposición de grasa de la glándula mamaria en vaquillonas que crecen de forma acelerada (Whitlock et al., 2002).

Debido a que distintos autores plantean diferentes teorías sobre la estrategia nutricional más adecuada luego del desleche para lograr efectos favorables sobre el desempeño tanto productivo como reproductivo de los animales, en este trabajo se plantea comparar estrategias contrastantes de alimentación que permitan lograr elevadas ganancias de peso vivo (mayores a las tradicionalmente recomendadas) y evaluar su efecto sobre el desempeño animal tanto en el corto como en el mediano plazo.

ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

La recría en los sistemas de producción de leche

La recría de las vaquillonas en el tambo es el período comprendido entre el fin del desleche y el primer parto. Las vaquillonas que son recriadas serán las futuras vacas productoras, y sustituirán a aquellos animales que son descartados por distintos motivos del tambo. Datos de Argentina indican que, históricamente, este valor ha sido del 20 al 25% de las vacas, pero con la intensificación de los sistemas de producción ocurrida en los últimos años, y los mayores niveles de exigencia a la hora de descartar (ya sea por problemas reproductivos, sanitarios y/u otras causas), este valor se encuentra más cercano a niveles del 25 a 30%, con casos extremos de hasta el 35% de reposición anual (Berra, 2005).

La duración de la etapa de recría tiene un fuerte impacto sobre la eficiencia de todo el sistema de producción; esto se debe a que la misma determina la longitud de la vida productiva de los animales en el tambo, y por lo tanto define directamente el tiempo en que estarán produciendo leche. Dicho de otro modo, la duración de la etapa de recría determinará la proporción de vacas en producción respecto al total de animales en el rodeo. Por ejemplo, para tambos que remiten información a Mejoramiento y Control Lechero de Uruguay, alrededor de 40% del total de tiempo que un animal se encuentra en un tambo (desde el nacimiento hasta que muere o se descarta) corresponde al período de recría (Ing. Agr. Fernando Sotelo, com. Personal; 2016; Mejoramiento y Control Lechero Uruguayo).

Por lo anterior, son distintos los trabajos que reportan las ventajas productivas y económicas de programar el primer parto de las vaquillonas a los 24 meses, respecto a edades mayores o menores (Gill & Allaire, 1976; Gardner et al., 1988). Incluso en casos donde la producción de leche en la primera lactancia fue menor con partos a los 24 meses respecto a >24 meses, la producción acumulada a una edad fija fue superior en el primer caso, debido al incremento en la vida productiva de los animales (Lin et al., 1988). Varios autores han indicado que, manteniendo un peso mínimo al parto, no hay mayores riesgos de distocia o de problemas de fertilidad posparto, cuando los animales paren por primera vez a los 24 meses de edad respecto a mayores edades (Lin et al., 1986; Simerl et al., 1991). A su vez, a medida que la edad al primer servicio supera los 13 a 16 meses, la fertilidad decae en vaquillonas de razas lecheras (Kuhn et al., 2006).

Sin embargo, la recría es una etapa que ocasiona costos y demanda inversiones para el productor, mientras que en contrapartida no recibe ingresos hasta el momento de la primera lactancia, o cuando decida vender a ese animal. Esto lleva a que muchas veces la recría se realice con el objetivo principal de reducir costos, si bien esto generalmente tiene efectos negativos sobre el desempeño de los animales. Tradicionalmente las dietas en esta etapa incluyen una gran proporción de forrajes de pastoreo directo, ya que son alimentos con un menor costo relativo que los concentrados o las reservas forrajeras, si bien los planes nutricionales en esta etapa son muy variados, y van desde aquellos que suponen el confinamiento de los animales, a los que usan pasturas de diversa calidad y con distinto nivel de suplementación (Zanton & Heinrichs, 2009).

Según James (2011), un pobre crecimiento en la etapa de recría no puede ser compensado posteriormente, por lo que establecer un plan de alimentación que permita asegurar un adecuado crecimiento corporal en los primeros 6 meses de vida, es crítico para lograr un exitoso resultado global en la recría de vaquillonas. De otra manera, un

manejo inadecuado durante la recría podría afectar significativamente el futuro desempeño productivo y reproductivo del animal; de ocurrir dicha merma en la producción, su impacto a nivel de todo el tambo podría ser muy importante, ya que las vacas de primer parto constituyen entre el 20 y 30% del rodeo en ordeño en tambos que remiten información a Mejoramiento y Control Lechero Uruguayo (Ing. Agr. Fernando Sotelo, com. Personal; 2016; Mejoramiento y Control Lechero Uruguayo).

Por lo tanto, la intensificación de la recría, a través de una mejora en el nivel de alimentación de los animales que permita aumentar las ganancias de peso, tiene ventajas como la posibilidad de servir las vaquillonas de reemplazo a los 15 meses de edad, para que tengan su primer parto a los 24 meses. Como fue mencionado, esto permite reducir la etapa “improductiva” del animal, así como el tiempo en que se recupera la inversión realizada (Gardner et al., 1988). Existen otros beneficios, como disponer de mayor cantidad de áreas para destinarlas a otra actividad productiva, en la medida que se precisa mantener una menor cantidad de vaquillonas de reemplazo para sostener el tamaño del rodeo. Además, la reducción en la edad al primer parto disminuye el intervalo generacional, con el consecuente aumento del progreso genético (Berra, 2005).

Además de definir la edad al primer parto, un programa de manejo de la recría debería establecer otras metas, específicamente aquellas referidas a las características de crecimiento y desarrollo corporal, que permitan que los animales expresen todo su potencial productivo, así como identificar las estrategias de manejo de la alimentación más apropiadas para alcanzarlas.

Crecimiento y desarrollo en vaquillonas

Crecimiento y desarrollo corporal

La estrategia nutricional a implementar entre el desleche y la pubertad debe tener que apuntar a lograr un buen desarrollo corporal del animal. El término crecimiento se refiere a aquellos cambios en el animal que se manifiestan en cambios medibles, particularmente en un aumento de tamaño, y se define básicamente como el aumento de la masa corporal debido a la ganancia o retención diferencial de tejido magro y adiposo, como consecuencia de procesos metabólicos a nivel celular. Por otra parte, el desarrollo hace referencia a los cambios temporales en las funciones específicas desarrolladas por los órganos y tejidos del animal (Di Marco, 1994).

El crecimiento está regulado principalmente por el hipotálamo, que recibe señales exógenas y endógenas, como resultado de lo cual se estimula o atenúa la síntesis de hormonas hipofisarias, como la hormona de crecimiento (**GH**, del inglés “growth hormone”). Estas, a su vez, actúan en conjunto con las hormonas tiroideas, la insulina, los esteroides sexuales, y los glucocorticoides, regulando los niveles de somatomedinas, e influyendo además sobre el crecimiento y el consumo (Fernández Abella, 1993).

En particular, la GH actúa favoreciendo la retención de proteínas, la división celular y la movilización de grasa (Di Marco, 1994). La GH, también llamada somatotrofina, es secretada por la adenohipófisis y es la principal hormona anabólica del organismo, teniendo acción lipolítica y diabetogénica. Su principal función es favorecer la síntesis del factor de crecimiento similar a insulina, o **IGF-I** (del inglés, “insulin-like growth factor I), a nivel hepático, el que a su vez promueve la captación de aminoácidos por las

células musculares e incrementa la síntesis de ácidos nucleicos (Fernández Abella, 1993).

Los niveles de estas hormonas, así como el número de receptores para las mismas, son controlados por el balance nutricional del animal, el estrés, o los cambios ambientales, entre otros factores (Di Marco, 1994). Por ejemplo, cuando los niveles de energía ingeridos por el animal son bajos, también será baja la concentración sanguínea de insulina. La insulina interviene en la formación de receptores para GH en el hígado, y, por lo tanto, en los niveles producidos de IGF-I (Diskin et al., 2003). Asimismo, se ha observado que la concentración de IGF-I en sangre aumenta cuando aumenta la cantidad de nutrientes administrada en la dieta (Capuco et al., 2004). Otras hormonas, como las tiroideas, también tienen influencia directa sobre el crecimiento muscular, a nivel de anabolismo y catabolismo celular, dependiendo del balance hormonal y nutritivo del animal. Asimismo, los glucocorticoides son el principal agente inhibidor del crecimiento de todos los tejidos en animales pre-púberes (Fernández Abella, 1993).

La elaboración de un programa de recría debe fijar metas considerando el patrón de crecimiento y desarrollo de los animales, de forma que puedan expresar su máximo potencial. En este sentido, además de llegar con una edad óptima al primer parto, los animales deberían lograr un peso que les permita alcanzar una adecuada producción de leche sin comprometer su crecimiento. De hecho, otros autores han reportado una relación positiva entre el peso al parto y la producción de leche (Keown & Everett, 1986). Dobos et al. (2001) reportaron que cuanto mayor sea el peso vivo al primer parto, a igual edad, mayor será la producción en la primera lactancia. También se ha demostrado que la duración del anestro posparto se relaciona inversamente con el peso vivo con que las vaquillonas llegan al primer parto (Krpáľková et al., 2014). Para vacas lecheras con un peso adulto estimado en 640 kg, Van Amburgh et al. (1998) sugirieron que el peso luego del primer parto que maximiza la producción de leche oscila entre 500 y 550 kg, es decir, alrededor de 82% del peso adulto; esta recomendación ha sido adoptada por el NRC (2001).

Las ganancias diarias de peso consideradas óptimas durante la pre-pubertad se encuentran entre 800 y 900 g/d para vaquillonas de raza Holstein con un peso adulto proyectado de 600 a 650 kg (Zanton & Heinrichs, 2005), y para razas de menor tamaño, entre 500 y 650 g/d (Sejrsen et al., 2000). Ganancias de peso superiores pueden aumentar el riesgo de un desarrollo mamario inadecuado, particularmente si la proteína ofrecida en la ración es limitada, como se explica posteriormente, pudiendo comprometer la producción futura de los animales (James, 2011).

Se debe considerar que el peso vivo, como indicador del crecimiento animal, no es el único factor a tener en cuenta en la definición de un programa de manejo de la recría, sino que también debe tenerse en cuenta el desarrollo esquelético y la condición corporal, además de la altura, la longitud, la circunferencia torácica y el área pélvica, como otros indicadores del desarrollo de los animales (Le Cozler et al., 2008). En este sentido, y de acuerdo con Kertz et al. (1998), aproximadamente el 50% de la ganancia total de altura a la cruz de los animales ocurre durante los primeros 6 meses de vida, un 25% entre los 7 y 12 meses, y el restante 25% durante el segundo año de vida.

Crecimiento y desarrollo de la glándula mamaria

La estrategia nutricional a implementar entre el desleche y la pubertad debe apuntar a lograr un buen desarrollo corporal del animal, y específicamente de la glándula mamaria. Durante la vida del animal, la glándula mamaria sufre cambios importantes en su tamaño, estructura, composición y actividad, comparativamente mayores que las de cualquier otro tejido u órgano. Dichos cambios comienzan en la etapa fetal y continúan aún luego de que la glándula ha madurado, a través de procesos de crecimiento y decrecimiento durante los sucesivos ciclos reproductivos, y pueden ser influenciados tanto por factores intrínsecos de la glándula o del animal, como así también por influencias externas tales como el ambiente, el clima y la dieta (Knight & Wilde, 1993).

Desde el nacimiento, el crecimiento corporal de las terneras se desarrolla a un mismo ritmo para los diferentes tejidos y órganos del cuerpo, lo que se denomina crecimiento isométrico, que ocurre hasta aproximadamente los 2 a 3 meses de edad (Lohakare et al., 2012). Esto incluye a los tejidos de la glándula mamaria, que crecen de forma isométrica respecto al resto del cuerpo (Buskirk et al., 1995). Una vez alcanzados los 2 a 3 meses de edad, las terneras entran en un período en el cual los tejidos que conforman la glándula mamaria crecen más rápido que los demás tejidos en el cuerpo, a dicho período se lo conoce como de crecimiento alométrico (Lammers et al., 1999). Dentro de este proceso, estructuras internas y externas de la glándula mamaria sufren cambios que pueden ser vitales para la futura producción lechera, lo cual está regulado por cambios en el patrón de secreción de distintas hormonas, como la GH y el IGF-I (Capuco et al., 1995; Bach, 2012).

Se ha señalado que una ganancia diaria de peso muy alta durante el primer período de crecimiento alométrico de la glándula mamaria, entre los 3 meses de edad y el inicio de la pubertad, puede tener un impacto negativo y permanente sobre el desarrollo mamario y corporal del animal, y podría comprometer la producción de leche futura (Sejrsen et al., 2000). Como ya fuera citado, Zanton & Heinrichs (2005) encontraron que la producción de leche estaba asociada cuadráticamente con la ganancia de peso prepuberal, y que la máxima producción láctea fue alcanzada con una ganancia de entre 800 y 900 g/d, disminuyendo con ganancias superiores.

Si bien no están claramente dilucidados los mecanismos, los efectos negativos de una alta ingesta de energía en el desarrollo mamario se deberían a la acumulación de grasa en la glándula mamaria, que en última instancia determina cambios en el perfil endócrino del animal, que causan una disminución del número de células secretoras en la glándula (Sejrsen et al., 2000). Sin embargo, a partir de la información de varios experimentos, Silva et al. (2002) reportaron que no hubo correlación entre la ganancia de peso antes de la pubertad y el contenido de ADN en el parénquima mamario (que es una variable indicadora de grado de desarrollo de la glándula), pero que esta última estuvo negativamente correlacionada con el contenido de grasa corporal. De manera similar, Capuco et al. (1995) indicaron que la cantidad de grasa corporal podría ser un mejor predictor de posibles problemas de desarrollo mamario más que la ganancia de peso.

De acuerdo con el NRC (2001), cuando el consumo de energía se incrementa, la tasa de deposición de proteína se vuelve limitante, y como consecuencia el exceso de energía se deposita como grasa, con el consiguiente efecto adverso sobre el crecimiento de la glándula mamaria, como ya fue planteado. Sin embargo, se ha observado que si se provee una adecuada cantidad de proteína cuando el aporte de energía es elevado, se

evitar una excesiva acumulación de grasa en la glándula mamaria de vaquillonas antes de la pubertad. En este sentido, Vandehaar (1997), determinó que el 61% de la variación en el crecimiento del tejido de parénquima de la glándula mamaria de vaquillonas pre-púberes creciendo a altas tasas de ganancia, estuvo explicado por la relación proteína cruda (**PC**) / energía metabolizable (**EM**) de la dieta, mientras que la ganancia de peso solo explicó el 7%.

Del mismo modo, Whitlock et al. (2002) determinaron que la relación PC / EM de la dieta explicó el 88% de la variación en el contenido de ADN en el parénquima de la glándula mamaria (indicador indirecto de grado de desarrollo de la misma) de vaquillonas manejadas para lograr altas ganancias de peso vivo. Por este motivo, se han sugerido relaciones de 46 a 48 g de PC/Mcal EM como mínimas adecuadas para no afectar el crecimiento en recrias aceleradas (Whitlock et al., 2002). Otros autores fijan esta relación en 65 a 70 g de PC/Mcal EM (Vandehaar, 1997). Sin embargo, no hay información publicada respecto a los efectos de una alta ganancia de peso (mayor a la recomendada por Zanton & Heinrichs (2005), para vacas con un peso adulto de 600 a 650 kg, sobre el crecimiento animal cuando se usan dietas con niveles de proteína y relaciones proteína / energía mayores a las tradicionalmente recomendadas.

Pubertad en las vaquillonas

La pubertad en la hembra es el inicio de la función cíclica reproductiva, cuando un animal es capaz de desarrollar un comportamiento sexual completo y producir y liberar gametos. A nivel ovárico, las terneras pre-púberes poseen folículos en crecimiento mucho tiempo antes del inicio de la actividad cíclica del ovario. En el período prepuberal, la cantidad de folículos primordiales disponibles sufren procesos dinámicos y rápidos sin alcanzar la condición de folículos de Graaf (preovulatorio), siendo la hormona folículo-estimulante (**FSH**, del inglés “follicle stimulating hormone”) la encargada, en esta etapa, de la producción y maduración de los folículos (Schillo et al., 1992).

Previo al inicio de la pubertad, la amplitud y frecuencia de los pulsos de hormona luteinizante (**LH**, del inglés “luteinizing hormone”) desde la hipófisis aumentan, ya que el eje hipotálamo-hipofisario se vuelve menos sensible al control por retroalimentación negativa del estradiol; en cierto momento, el estradiol alcanza niveles necesarios para que la retroalimentación se convierta en positiva, lo que resulta en el primer pico de LH (Perry, 2012). Se considera que la hembra entra en pubertad cuando un folículo ovárico se desarrolló al punto de lograr una ovulación espontánea precedida de estrógeno con formación de un cuerpo lúteo activo, marcando el comienzo de ciclos estrales regulares. La primera ovulación es comúnmente seguida por un ciclo estral corto (de 8 días o menos), que está asociado a un cuerpo lúteo de menor diámetro y a una menor concentración de progesterona que en ciclos normales (Schillo et al., 1992).

El peso vivo de un animal es uno de los factores más importantes en el establecimiento de la pubertad, lo que ha llevado a hipotetizar que las vaquillonas alcanzan la pubertad cuando llegan a un peso mínimo, momento en el cual se desencadenan los eventos endócrinos que culminan con la aparición de la misma (Foster & Nagatani, 1999). En este sentido, se ha planteado que la pubertad en hembras bovinas de razas lecheras se alcanza cuando llegan a un peso equivalente a 40-50% del peso adulto (NRC, 2001), lo que en animales de raza Holstein con un peso adulto de entre 600 y 650 kg equivale a

un peso de entre 250 y 310 kg, con alrededor de 8 a 11 meses de edad. A su vez, el peso vivo se encuentra sumamente influenciado por la nutrición.

Efecto del plano de alimentación sobre la llegada a la pubertad

Existe una gran cantidad de factores que pueden afectar el momento en que las vaquillonas llegan a la pubertad; algunos de ellos son intrínsecos al animal (e.g. genética), mientras que otros, en un sentido amplio, provienen del ambiente. Dentro de estos últimos se pueden citar a la nutrición, el foto-período, los factores sociales, entre otros, siendo la nutrición uno de los más importantes (Schillo, 2011; Perry, 2012). En este sentido, una hipótesis postula que los cambios en las concentraciones sanguíneas de metabolitos y/u hormonas que reflejan el balance de nutrientes son detectados a nivel del sistema nervioso central o periférico, y que estos cambios finalmente se traducen a señales que regulan la secreción de la hormona liberadora de gonadotropinas (**GnRH**, del inglés “gonadotrophin releasing hormone”) y la LH en respuesta al estradiol circulante, lo que resulta en el establecimiento de la pubertad (Schillo, 2011).

En trabajos realizados con terneras durante la etapa lactante, Shamay et al. (2005), Davis et al. (2011), Morrison et al. (2012) y De Trinidad (2014) observaron que terneras manejadas con un plano más elevado de alimentación llegaron a la pubertad a menor edad y/o peso que aquellos animales manejados con un plano inferior, aunque Morrison et al. (2009) y Terré et al. (2009) no reportaron efectos del plano de alimentación sobre el momento o las características de las vaquillonas al alcanzar la pubertad.

En trabajos retrospectivos realizados con bovinos de razas carniceras, se observó que altas tasas de crecimiento logradas luego del desleche estuvieron relacionadas con un inicio temprano de la pubertad (Smith et al., 1976), mientras que en trabajos de intervención, diversos autores coinciden en señalar que la mejora en el plano nutricional de vaquillonas de razas lecheras luego del desleche conduce a una más temprana aparición de la pubertad (Petitclerc et al., 1983; Peri et al., 1993; Bortone et al., 1994; Luna-Pinto & Cronjé, 2000). En varios de estos trabajos, las vaquillonas alimentadas de forma más intensiva, si bien llegaron a la pubertad antes, lo hicieron con un peso similar que aquellas alimentadas con un mayor grado de restricción (Petitclerc et al., 1983; Peri et al., 1993).

Es interesante señalar que en los trabajos realizados con terneras lactantes (De Trinidad, 2014; Guggeri et al., 2014) o luego del desleche (Yelich et al., 1996; Radcliff et al., 1997, 2004; Lammers et al., 1999; Lammers & Heinrichs, 2000), la entrada más temprana a la pubertad reportada en animales manejados con un mayor plano nutricional estuvo asociada a mayores concentraciones sanguíneas de IGF-I. En este sentido, el IGF-I estimula la proliferación y diferenciación de las células de la granulosa ovárica, y promueve la síntesis de hormonas esteroideas a través de estimular la actividad del complejo aromatasas, así como la cantidad de receptores para LH (Beg y Ginther, 2006). En segundo lugar, el IGF-I producido de forma periférica en el hígado y otros tejidos, constituiría un regulador nutricional neuroendócrino de importancia, ya que se ha observado que la infusión de IGF-I a nivel cerebral permite adelantar la pubertad en ratones (Danilovich et al., 1990). Esto ha llevado a sugerir que niveles elevados de IGF-I activarían la liberación de GnRH hipotalámica y estimularían la secreción de LH a nivel hipofisario, estando ambos mecanismos involucrados en la descarga de LH en el inicio de la pubertad (Fortes et al., 2013). Por otra parte, la

dinámica de las concentraciones de otras hormonas como insulina o leptina no estuvieron asociadas con el momento en que se establece la pubertad en vaquillonas manejadas con distinto plano nutricional previo (Chelikani et al., 2009; Guggeri et al., 2014).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La lechería nacional ha tenido un notorio crecimiento en los últimos años, pasando de una remisión a plantas industriales de 1.351 millones de litros en 2005 a 2.017 millones de litros en 2013, si bien en 2016 la remisión se redujo a 1.775 millones de litros (INALE, 2017). Este crecimiento ocurrió aún cuando el tamaño del rodeo nacional no aumentó de forma significativa en este período (DIEA, 2014). Sin embargo, la elevada edad al primer parto es una restricción para el crecimiento del sector. Actualmente, la edad al primer parto para tambos que envían información a Mejoramiento y Control Lechero Uruguayo (Ing. Agr. Fernando Sotelo, com. pers., 2016, Mejoramiento y Control Lechero Uruguayo) es 32,2 meses, si bien de acuerdo a la bibliografía

internacional, la edad que maximizaría la producción en toda la vida de la vaca lechera es 24 meses (Gardner et al., 1988; Pirlo et al., 2000).

En Uruguay es escasa la información referida al manejo nutricional que reciben las vaquillonas durante la etapa de recría. Según INALE (2015), la mayor parte de los productores realiza la recría en predios propios (solo 24% de los productores usan campos de recría tercerizados), mientras que el principal sistema de alimentación es en base a la utilización de pasturas, ya sea pradera exclusivamente (11%), campo natural (12%), combinación de estas pasturas (30%), o alimentación con pradera y uso de suplemento (37%). La alimentación exclusivamente en sistemas de confinamiento, solo (1%) o combinado con pasturas (4%), tiene poca difusión entre los productores.

Por otra parte, en un relevamiento de 13 campos de recría de Uruguay comprendiendo unas 18.000 vaquillonas (Costa et al., 2010) surgió que, en promedio, el área destinada a campo natural en estos campos fue 54%. Ello explicaría los bajos indicadores de desempeño obtenidos en estos predios: los animales volvían a los tambos de origen a parir con 33 meses y 476 kg de peso, pero con un rango de 29 a 39 meses y un peso de 447 a 516 kg, lo que representa valores por debajo de lo recomendado.

En todos los casos, la alta dependencia de pasturas conduce a una alta variabilidad, tanto en la cantidad como en la calidad del alimento ofrecido, cuando se las usa como único alimento (solamente 42% de los productores usa otro alimento además de las pasturas durante la etapa de recría; INALE 2015). Esto se vería agravado al usar campo natural, cuyo aporte de nutrientes sería del todo insuficiente para satisfacer los elevados requerimientos, en particular de proteína, en terneras jóvenes (Mieres et al., 2008).

Aunque en Uruguay se han incrementado los sistemas que apuntan a intensificar el manejo de la alimentación durante la etapa de recría, por el posible impacto positivo que tiene el manejo en este período sobre el desempeño de los animales, incluida una posible mayor producción de leche en la primera lactancia, aún no están establecidos los ritmos de crecimiento más adecuados, ni la mejor estrategia nutricional de alcanzarlos bajo nuestras condiciones. Adicionalmente, los trabajos realizados sobre alimentación de vaquillonas durante la fase de recría han estado enfocados a evaluar los resultados productivos (e.g. ganancia de peso) que se obtienen durante la aplicación de los tratamientos, pero sin evaluar los efectos residuales que pueden llegar a tener los mismos (Mieres et al., 2008, 2010). Por lo tanto, se considera de interés la evaluación del impacto de estrategias contrastantes de alimentación de vaquillonas luego del desleche sobre el desempeño de los animales, tanto en el corto como en el mediano plazo.

HIPÓTESIS

Las terneras Holstein alimentadas para lograr una ganancia de peso vivo de 1000 g/día luego del desleche y durante 120 días consecutivos, usando dietas con una alta relación proteína / energía, tienen un mayor desarrollo corporal, y entran antes a la pubertad que las terneras manejadas con una menor ganancia de peso vivo.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el efecto de dos planos de alimentación aplicados durante 120 días consecutivos luego del desleche sobre el desempeño de terneras Holstein en un tambo experimental de Uruguay durante 2014.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el efecto directo y residual de dos planos de alimentación aplicados luego del desleche y durante 120 días consecutivos en terneras Holstein sobre:

- El comportamiento animal en el período de tratamiento;
- El consumo de nutrientes en el período de tratamiento;

- La ganancia diaria de peso vivo, la evolución del crecimiento y el desarrollo corporal en el período de tratamiento y un período residual de 150 días;
- La concentración de insulina, IGF-1 y glucosa en sangre en el período de tratamiento y un período residual de 150 días; y
- El momento en el cual los animales ingresan a la pubertad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información reportada en esta tesis forma parte de un experimento de largo plazo, cuyo principal objetivo es evaluar el efecto del plano de alimentación luego del desleche sobre la producción de leche en la primera lactancia. Dicho experimento se realizó en la Unidad de Lechería de la Estación Experimental “Alberto Boerger” del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA “La Estanzuela”) ubicada en Ruta 50 km 11, en el Departamento de Colonia, Uruguay. El trabajo se realizó con la aprobación de la Comisión de Ética en el Uso de Animales de INIA (Protocolo INIA 2015.40). Los análisis de composición química de los alimentos fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal de INIA “La Estanzuela”, mientras que los análisis de hormonas y glucosa fueron realizados en el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la Facultad de Veterinaria (Universidad de la República).

Animales y tratamientos

Se usaron 40 terneras Holstein nacidas en la Unidad de Lechería de INIA “La Estanzuela” durante marzo y abril, con un peso promedio al nacer de $42,9 \pm 4,9$ kg. Las terneras fueron calostradas artificialmente con 4 L de calostro, administrados con una sonda buco-esofágica dentro de las primeras 6 h luego del nacimiento. Solo se usaron animales que tuvieron un correcto calostrado, equivalente a una medición igual o mayor a 5,2 mg/dL de proteínas totales en suero a las 24 h de vida, medido con un refractómetro óptico (Atago Co. Ltd., Bellevue, WA, EEUU). Al segundo día de vida, las terneras pasaron a ser manejadas en una amamantadora automática (C400+ Calf feeder, GEA Farm Technologies, Oelde, Alemania), y recibieron el mismo manejo, que se detalla a continuación: hasta el día 14 de vida se le ofreció a cada animal 4 L de leche entera, entre el día 15 y 42 se le ofreció 6 L, y entre el día 43 y 48 se le ofreció 3 L, siendo deslechados al día 49. Luego del desleche y hasta el ingreso a los tratamientos todos los animales tuvieron un manejo similar, y fueron alimentados con heno de alfalfa a voluntad y un concentrado iniciador comercial a razón de 2 a 2,5% del peso vivo (Cuadro I).

Debido a que no se contaba con la totalidad de los animales al inicio de la aplicación de los tratamientos, debido al rango de nacimientos mencionado, los animales a medida que fueron naciendo se agruparon en tandas de 8 animales (5 tandas en total). Dentro de cada tanda se agruparon en grupos de 4 animales, homogéneos entre sí en cuanto a edad (promedio = $77,7 \pm 8,1$ días de vida) y peso (promedio = $77,5 \pm 9,2$ kg), y cada grupo se asignó al azar a uno de 2 tratamientos, resultando 5 repeticiones (corrales) por tratamiento, cada una constando de 4 animales. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

- nivel de alimentación para alcanzar una ganancia de 700 a 800 g/día (**TMEDIA**)
- nivel de alimentación para alcanzar una ganancia de 1000 a 1100 g/día (**TALTA**).

Los tratamientos fueron aplicados durante 120 días consecutivos, y a este período se le llamará de ahora en más como “período de aplicación”. Cada grupo de 4 animales se manejó en un corral con una superficie de 100 m² por animal, contando cada uno con un bebedero y comedero colectivo, y se alimentaron solamente con una ración totalmente mezclada (**RTM**) compuesta por ensilaje de maíz, heno de alfalfa, harina de soja, grano seco de maíz, y aditivos, que fue formulada usando el NRC (2001) (Cuadro I). La RTM fue preparada diariamente y se suministró en una única vez al día, a las 10:00 h. Para obtener las ganancias buscadas en cada tratamiento, la cantidad de RTM ofrecida a cada grupo se modificó quincenalmente según el peso y la edad promedio de los animales en cada uno de ellos, usando el sistema propuesto por el NRC (2001). En promedio para todo el período experimental, se ofertaron 3 y 4 kg MS/día/animal para lograr las ganancias buscadas en TMEDIA y TALTA, respectivamente.

Luego de finalizado el período de alimentación diferencial, todos los animales pasaron a ser manejados como un único grupo durante 150 días consecutivos, de modo de poder estudiar el efecto residual del nivel de alimentación aplicado previamente sobre el desempeño de los animales. A este período se le llamará “período residual” de ahora en adelante. Durante este período, los animales se alimentaron sobre pasturas a base de alfalfa (*Medicago sativa*) y festuca (*Festuca arundinacea*) con una oferta de materia seca (**MS**), cortada al ras del piso, equivalente a 3% del peso vivo y una disponibilidad

de MS no inferior a 1500 kg MS/ha. También se les ofreció el mismo concentrado comercial usado inmediatamente luego del desleche, a razón de 1% del peso vivo (base fresca), y henolaje de alfalfa a voluntad (Cuadro I).

Cuadro I. Ingredientes de la ración totalmente mezclada y composición química de los alimentos usados (datos expresados en base seca, salvo que se indique lo contrario).

	Ración totalmente mezclada	Pastura	Henolaje	Concentrado comercial
Ingredientes				
Ensilaje de maíz	30,9	-	-	-
Heno de alfalfa	24,1	-	-	-
Harina de soja	30,6	-	-	-
Grano de maíz	10,8	-	-	-
Bicarbonato de sodio	1,4			
Óxido de magnesio	0,5			
Fosfato bicálcico	0,3			
Bovimilk Recría ¹	1,4			
Composición química				
Materia seca, % de materia fresca	55,5	22,6	53,6	90,1
Materia orgánica	90,9	90,7	88,4	93,6
Proteína cruda	20,9	20,2	15,0	17,1
Fibra detergente neutro	42,8	53,6	51,7	24,8
Fibra detergente ácido	27,1	36,4	64,8	12,0
Energía metabolizable, Mcal/kg	2,51	2,16	1,94	2,98

¹Nutral SA (Joanicó, Uruguay). Aporta (por kg MS): 230 g de Ca; 20 g de Mg; 120 g de Na; 180 g de Cl; 3,2 de Cu; 9,8 g de Zn; 5,9 g de Mn; 355000 UI de vitamina A; 71000 UI de vitamina D₃; 1500 UI de vitamina E; 1,5 g de monensina sódica.

Mediciones

Consumo de nutrientes

Durante el período de aplicación se registró el consumo de nutrientes en cada corral cada 2 meses (i.e. a la mitad y al final de dicho período) y durante 4 días consecutivos, por diferencia entre la cantidad de materia fresca ofrecida y rechazada de alimento en 24 h. Cada uno de esos días se tomó una muestra de alimento ofrecido y rechazado, que fue usada para determinar el contenido de MS y obtener el dato de consumo de MS. Adicionalmente, cada día se tomaron muestras de la RTM (tanto ofrecida como rechazada) que fueron congeladas a -20°C. Todas las muestras se secaron a 60°C durante 48 h, se molieron a 1 mm en un molino Wiley (Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA, EEUU), y se analizaron para determinar el contenido de: MS, cenizas y PC (AOAC, 1990; métodos ID 934.01, ID 942.05, ID 955.04, respectivamente), fibra detergente neutro (usando α -amilasa termoestable y sulfito de sodio) y fibra detergente ácido (Van Soest et al. 1991), expresadas libres de cenizas. El contenido de materia orgánica fue calculado como la diferencia entre el contenido de MS y el de cenizas. El contenido de EM fue estimado usando las ecuaciones propuestas por el NRC (2001).

Tasa de consumo

Durante el período de aplicación la tasa de consumo de MS (TCMS) fue determinada cada 2 meses (i.e. a la mitad y al final de dicho período) durante 2 días consecutivos cada vez. La TCMS fue estimada por diferencia entre la cantidad de MS de alimento ofrecido y rechazado cada 2 h, durante 8 h consecutivas luego de la oferta de RTM. En cada ocasión, esta medición fue realizada en menos de 2 min para evitar interferir con el normal comportamiento de los animales. Para calcular la TCMS, el contenido de MS del alimento que quedaba en el comedero fue determinado en cada momento que era pesado e inmediatamente devuelto al comedero.

Comportamiento

Durante el período de aplicación se registró el comportamiento animal cada 2 meses (i.e. a la mitad y al final de dicho período) durante 2 días consecutivos cada vez. El registro fue realizado por 2 observadores entrenados, usando el método de muestreo instantáneo de cada animal (Martin & Bateson, 1993), con intervalos de medición de 4 minutos durante 8 h consecutivas luego de administrar la RTM a los animales, lo que permitió obtener 120 observaciones por animal, día de medición y período. Cada observador monitoreó a todos los animales durante 4 h consecutivas. Previo al inicio de cada período de observación, los observadores se entrenaron juntos para familiarizarse con el etograma usado y evaluar la consistencia entre observadores en la evaluación de los comportamientos, que fueron definidos de la siguiente forma: come (i.e. el animal ingiere y mastica RTM), rumia (i.e. el animal mastica bolos de alimento regurgitados), bebe (i.e. el animal se encuentra con la boca dentro del bebedero ingiriendo agua), descansa parada (i.e. el animal no realiza ninguna actividad evidente manteniendo una posición erecta con las piernas extendidas), descansa echada (i.e. el animal no realiza ninguna actividad evidente y se encuentra echado sobre el piso), y otros (i.e. realiza actividades distinta de las descritas anteriormente). Los resultados de cada evento de comportamiento por h se calcularon como la fracción del total de observaciones realizadas multiplicado por 100.

Crecimiento y desarrollo corporal

Previo al inicio del experimento, y cada 15 días durante el período de aplicación, se registró en cada animal el peso vivo usando una balanza digital (True test, EC2000, Auckland, Nueva Zelanda), y la altura a la cruz, la altura a la cadera (i.e. tuberosidad coxal izquierda), el ancho entre cadera (entre ambas tuberosidades coxales), y la circunferencia torácica usando una cinta métrica (Coburn Holstein Dairy Cow Weight Tape, Whitewater, WI, EEUU). Durante el período residual se hicieron las mismas mediciones, pero cada 30 días.

Hormonas y glucosa en sangre

Se obtuvieron muestras de sangre al ingreso de los animales al experimento, y luego mensualmente, tanto durante el período de aplicación como durante el período residual. Las muestras de sangre se tomaron por veno-punción yugular en tubos sin conservantes. Estos tubos se dejaron a temperatura ambiente durante 2 h, luego se pusieron en un refrigerador a 4°C por 1 h más, y luego fueron centrifugadas (3000 g durante 20 min a temperatura ambiente), y se separó el suero, que fue almacenado a -20°C hasta determinar la concentración de IGF-I e insulina. Se tomó otra muestra de sangre en tubos con NaF y Na₂-EDTA (Wiener Laboratorios, Rosario, Argentina), que se

centrifugaron inmediatamente (3000 g durante 20 minutos a temperatura ambiente), y luego el plasma fue separado y almacenado a -20°C para determinar la concentración de glucosa.

Las concentraciones de glucosa se determinaron por espectrofotometría con un equipo Vitalab Selectra 2 Autoanalyser (Vital Scientific, Dieren, Holanda), usando un kit comercial (BioSystems, Barcelona, España). El coeficiente de variación intra-ensayo para los controles bajo y alto fue menor a 10%. Las concentraciones de insulina fueron determinadas con un ensayo inmuno-radiométrico (Diasource Immuno Assays, Nivelles, Bélgica). La concentración mínima detectable del ensayo fue de 2,9 $\mu\text{UI/mL}$ y el coeficiente de variación intra-ensayo fue 7,0% y 6,0% para los controles bajo (18,5 $\mu\text{UI/mL}$) y alto (60,7 $\mu\text{UI/mL}$), respectivamente. Las concentraciones de IGF-I se determinaron con un ensayo inmuno-radiométrico (CisBio International, Gif-sur-Yvette, Francia) descrito previamente para bovinos (Adrien et al., 2012). La sensibilidad del ensayo fue de 0,40 ng/mL, el coeficiente de variación intra-ensayo fue 11,4% y 15,1% para los controles bajo (51 ng/mL) y alto (413 ng/mL), respectivamente, y el coeficiente de variación inter-ensayo fue 10,6 y 19,2% para los controles bajo y alto, respectivamente.

Pubertad

Una vez que las vaquillonas alcanzaron un peso de 200 kg, se realizó ultrasonografía transrectal cada 7 días hasta observar la presencia de un cuerpo lúteo en dos observaciones consecutivas, de la forma descrita por De Trinidad (2014). Se utilizó un equipo Aloka 500 (Aloka, Tokyo, Japón), con una sonda de 5 MHz adaptada para ser utilizada como transductor rígido. Se tomó como fecha de entrada a la pubertad el primero de dos exámenes consecutivos en que se observó la presencia de un cuerpo lúteo. El mismo criterio se usó para definir el peso y dimensiones corporales al inicio de la pubertad (De Trinidad, 2014).

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos fue realizado con el software SAS (versión 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, EEUU), según un diseño de corrales (Kaps & Lamberson, 2004). Los datos de peso y de las distintas medidas corporales, así como las mediciones realizadas en sangre, se analizaron separadamente para el período de aplicación de tratamientos y el período residual. Se utilizó un modelo lineal mixto que incluyó el efecto del tratamiento, del día de medición (incluido como variable de regresión), de la interacción tratamiento por día de medición, de la tanda de ingreso de los animales, de la interacción tratamiento por tanda de ingreso, y del corral. El valor medido al momento de ingreso de los animales a los tratamientos fue usado como covariable. Los efectos de los tratamientos sobre los coeficientes de regresión de las rectas ajustadas (i.e. las ganancias de peso) fueron evaluados usando un test de homogeneidad de pendientes (Kaps & Lamberson, 2004).

Los datos de comportamiento y la TCMS fueron analizados separadamente para cada uno de los dos momentos de medición, usando un modelo lineal mixto que incluyó los efectos del tratamiento, del momento de medición, de la interacción tratamiento por momento de medición, de la tanda de ingreso de los animales, de la interacción

tratamiento por tanda de ingreso, y del corral. Los datos de consumo de nutrientes fueron analizados de la misma forma que para las variables anteriores, pero en el modelo no se consideró el efecto del momento de medición ni la interacción tratamiento por momento de medición.

El efecto de los tratamientos sobre la proporción de terneras que llegaron a la pubertad se analizó a través de un modelo de sobrevivencia usando el PROC GLIMMIX, considerando al peso de los animales al inicio del experimento como covariable. Para cada fecha, las diferencias en las proporciones fueron comparadas usando los intervalos de 95% de confianza de cada tratamiento.

Los datos de 2 terneras TMEDIA y 2 terneras TALTA se eliminaron del análisis debido a que murieron o enfermaron durante el transcurso del experimento por causas ajenas al mismo. Se estableció el nivel de significancia estadística con $P \leq 0,05$, y de tendencia con $0,05 < P \leq 0,10$.

RESULTADOS

Los resultados de consumo de nutrientes se presentan en el Cuadro II. Como resultado del diseño de los tratamientos, los animales TALTA consumieron una mayor cantidad de MS y nutrientes que los animales TMEDIA durante el período de aplicación. En este período, los animales TALTA consumieron en promedio 45% más de EM y 45% más de PC que los animales TMEDIA.

Cuadro II. Consumo de nutrientes durante el período de aplicación, al día 60 y 120 de iniciado el experimento.

	TMEDIA	TALTA	EEM
Día 60			
MS, kg/día	2,82 a	3,79 b	0,078
MO, kg/día	2,55 a	3,50 b	0,070
PC, kg/día	0,61 a	0,87 b	0,016
FDN, kg/día	1,30 a	1,52 b	0,038
FDA, kg/día	0,83 a	0,96 b	0,025
EM, kg/día	6,85 a	9,68 b	0,182
Día 120			
MS, kg/día	2,79 a	4,39 b	0,020

MO, kg/día	2,58 a	3,97 b	0,018
PC, kg/día	0,64 a	0,94 b	0,015
FDN, kg/día	1,12 a	2,01 b	0,014
FDA, kg/día	0,71 a	1,29 b	0,010
EM, kg/día	7,15 a	10,65 b	0,063

Letras distintas en la misma fila indican diferencias entre tratamientos ($P < 0,01$).

TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 1000-1100 g/día; EEM = error estándar de la media; MS = materia seca; MO = materia orgánica; PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; EM = energía metabolizable.

Los resultados de TCMS se presentan en el Cuadro III. Durante todo el período de aplicación, la TCMS tendió a ser o fue mayor en las vaquillonas TALTA respecto a TMEDIA. Sin embargo, para las mediciones registradas durante el final de dicho período, se detectó una interacción entre el tratamiento y la hora de medición. Mientras que en la medición realizada a la mitad del período de aplicación la TCMS disminuyó de forma similar entre tratamientos a medida que transcurrió la sesión de alimentación, en la medición realizada al final del período de aplicación la TCMS disminuyó de forma más acentuada en TALTA respecto a TMEDIA entre la h 2 y 4 luego de la oferta de RTM (Figura 1).

Los resultados de comportamiento se presentan en el Cuadro III. En todos los momentos en que se evaluó el comportamiento, los animales dedicaron un elevado porcentaje del tiempo disponible a comer inmediatamente luego de ofrecida la RTM, que posteriormente fue disminuyendo. Tanto en las mediciones realizadas a la mitad como al final del período de aplicación se detectó un efecto del tratamiento sobre el porcentaje de tiempo que los animales dedicaron a comer, siendo mayor en los animales TALTA respecto a TMEDIA, y también una interacción entre el tratamiento y la hora de medición. En este sentido, en las mediciones realizadas a la mitad del período de aplicación de los tratamientos, se observó que no hubo diferencias en el porcentaje de tiempo dedicado a comer entre tratamientos durante las primeras 3 h luego de la oferta de RTM, pero dicho porcentaje fue mayor en los animales TALTA a las 4, 5, 6 y 8 h luego de la oferta de RTM. En las mediciones realizadas al final del período de aplicación de los tratamientos, el porcentaje de tiempo dedicado a comer fue mayor en los animales TALTA a las 2 a 4 h luego del inicio de la sesión de alimentación, no siendo diferentes entre tratamientos en las horas restantes (Figura 2).

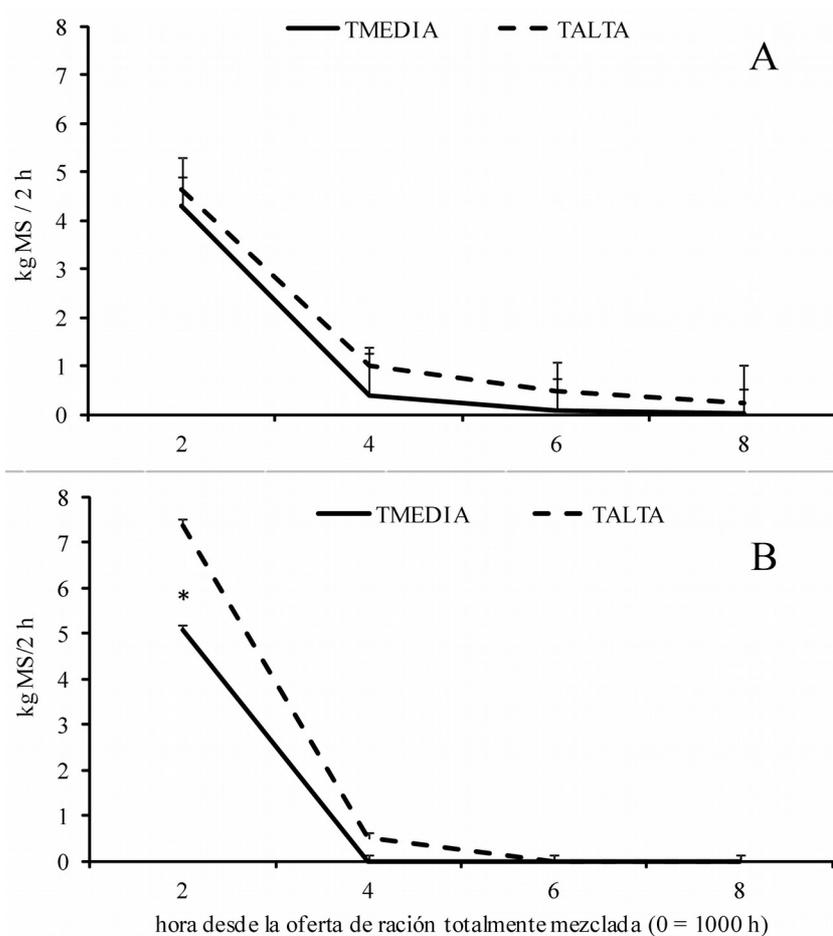


Figura 1. Evolución de la tasa de consumo de materia seca (MS) medida a la mitad (A) o al final (B) del período de aplicación. TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 1000-1100 g/día.

Para las restantes variables de comportamiento no se detectaron diferencias entre tratamientos en ningún momento del período de aplicación (Cuadro III). Sin embargo, en la medición realizada a la mitad de dicho período se detectó una interacción entre tratamiento y hora de medición para el comportamiento “descansa echada”; si bien en ambos tratamientos el porcentaje de animales expresando este comportamiento aumentó a medida que transcurrió la sesión de alimentación hasta llegar a un máximo hacia la h 4 luego de la oferta de RTM, para disminuir a partir de las 5 o 6 h, este porcentaje fue mayor en los animales TMEDIA a las 4, 5 y 8 h. En la medición realizada al final del período de aplicación se detectó una interacción entre tratamiento y hora de medición para el comportamiento “descansa parada”; si bien el porcentaje de animales expresando este comportamiento fue muy bajo al inicio de la sesión de alimentación y aumentó progresivamente a lo largo de la misma, a las 2 y 3 h luego de la oferta de RTM fue mayor en los animales TMEDIA respecto a TALTA, mientras que a la 5 h tendió a ser mayor en los animales TALTA respecto a TMEDIA.

Cuadro III. Variables de comportamiento (expresados como porcentaje del total de observaciones), y tasa de consumo de materia seca durante las primeras 8 h luego del inicio de la primera sesión de alimentación, en el período de aplicación.

TMEDIA	TALTA	EEM	<i>P</i> > <i>F</i>
--------	-------	-----	---------------------

				Trat	Hora	Trat x hora
Día 60						
Come	36,2	45,9	3,72	0,04	<0,01	<0,01
Rumia	7,7	9,4	2,20	0,41	<0,01	0,72
Bebe	2,3	2,3	0,40	0,94	<0,01	0,11
Descansa parada	20,4	15,2	2,68	0,17	<0,01	0,59
Descansa echada	24,8	20,7	3,96	0,23	<0,01	0,03
Otras	8,6	6,6	1,86	0,24	<0,01	0,38
Tasa de consumo, kg MS/2 h	1,19x	1,59y	0,113	0,07	<0,01	0,91
Día 120						
Come	23,2	35,5	2,78	<0,01	<0,01	<0,01
Rumia	7,6	4,3	2,23	0,29	<0,01	0,30
Bebe	4,3	4,6	0,99	0,77	0,06	0,12
Descansa parada	32,8	29,1	5,70	0,33	<0,01	<0,01
Descansa echada	22,6	16,7	2,54	0,16	<0,01	0,12
Otras	9,6	9,8	1,54	0,85	<0,01	<0,01
Tasa de consumo, kg MS/2 h	1,27	1,97	0,047	<0,01	<0,01	<0,01

TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 1000-1100 g/día; EEM = error estándar de la media; Trat = efecto de tratamiento; Día = Efecto de día; Trat x día = efecto de interacción tratamiento por día.

En el Cuadro IV se presentan los valores promedio de peso vivo, altura a la cruz y a las caderas, ancho entre caderas y circunferencia torácica, para el período de aplicación y residual, mientras que en el Cuadro V se presentan las tasas de ganancia diaria de peso vivo, altura a la cruz y a las caderas, ancho entre caderas y circunferencia torácica, durante los períodos de aplicación y residual. Durante el período de aplicación, si bien no se observó un efecto del tratamiento sobre los valores promedio de ninguna de las variables estudiadas, se detectó una interacción entre tratamiento y momento de medición para todas ellas, a excepción de altura a las caderas. En este sentido, la ganancia de peso para las vaquillonas TMEDIA fue de 597 g/día, mientras que para las vaquillonas TALTA la ganancia de peso fue de 799 g/día, siendo diferentes entre sí. De manera similar, para la tasa de ganancia diaria de altura a la cruz, de circunferencia torácica y de ancho entre caderas fueron mayores los valores en TALTA respecto a TMEDIA durante el período de aplicación.

Sin embargo, durante el período residual no se detectó un efecto de los tratamientos aplicados previamente sobre la ganancia diaria de peso o de otras medidas morfológicas, a excepción de la tasa de ganancia en altura a la cruz, que tendió a ser mayor en TMEDIA en comparación con TALTA. Al finalizar el período de aplicación de tratamientos las vaquillonas TMEDIA pesaban $154,1 \pm 6,2$ kg y las TALTA $177,2 \pm 9,7$ kg, mientras que al final del período residual pesaban $269,2 \pm 13,1$ y $287,6 \pm 17,6$ kg, respectivamente; en ambos casos las diferencias fueron estadísticamente significativas.

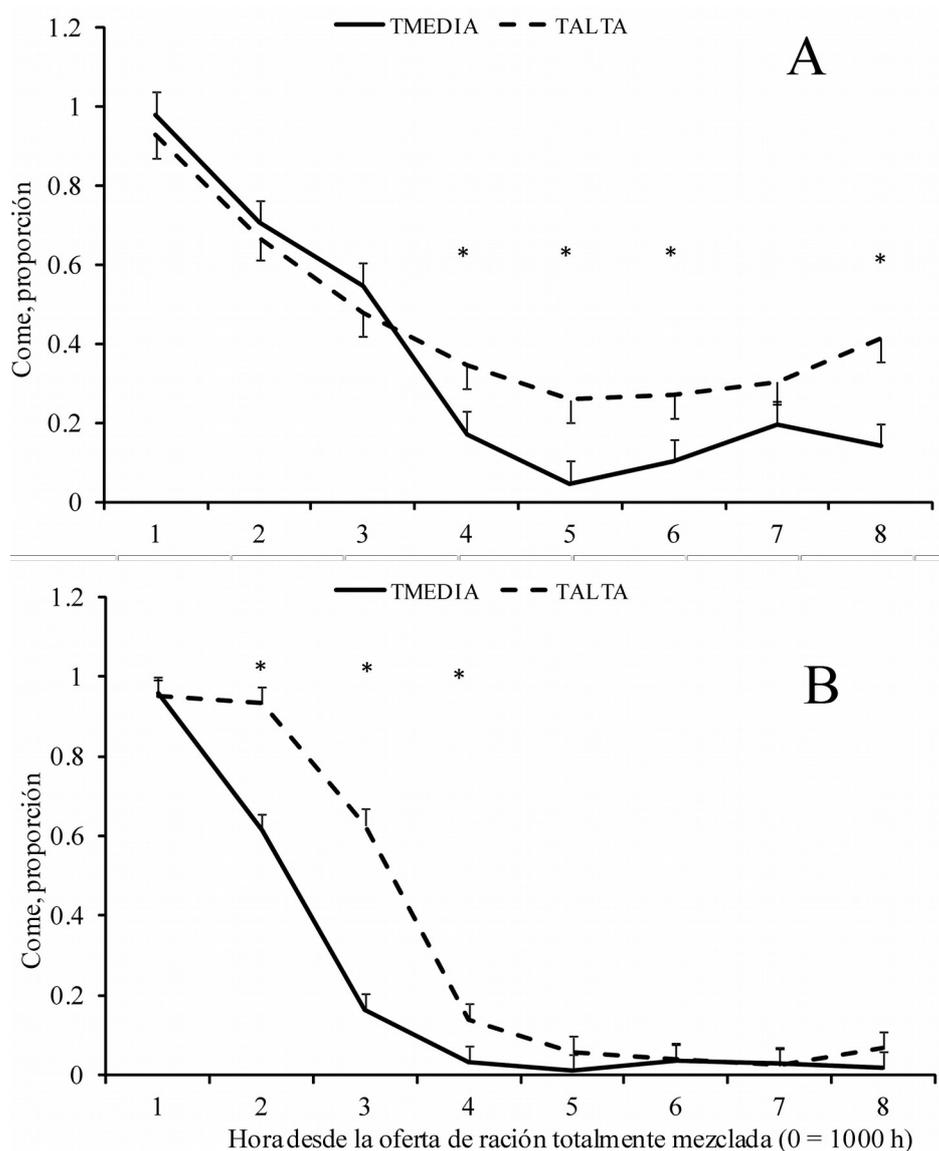


Figura 2. Comportamiento de comer, expresado como proporción del total de observaciones, medido a la mitad (A) o al final (B) del período de aplicación. TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 1000-1100 g/día. Los asteriscos en cada hora indican la existencia de al menos una diferencia entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

Los resultados de hormonas y glucosa en sangre se presentan en el Cuadro VI. Durante el período de aplicación, las vaquillonas TALTA tendieron a tener mayores concentraciones sanguíneas de IGF-I que TMEDIA, pero no hubo efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de insulina o glucosa; tampoco se detectó una interacción entre el tratamiento y el momento de medición para ninguna de estas variables. Durante el período residual no se detectó un efecto del tratamiento sobre ninguna de estas variables, pero se detectó una tendencia hacia una interacción entre el tratamiento y el momento de medición. En este sentido, las concentraciones de IGF-I tendieron a ser mayores ($P = 0,09$) en las vaquillonas TALTA respecto a TMEDIA durante el día 150 luego del inicio del experimento, pero luego no se detectaron diferencias entre tratamientos (Figura 3).

Cuadro IV. Peso y variables morfológicas medidas en el período de aplicación o residual.

	TMEDIA	TALTA	EEM	<i>P > F</i>		
				Trat	Día	Trat x día
Período de aplicación						
Peso	119,3	130,7	1,43	0,68	<0,01	<0,01
Altura a la cruz	96,8	98,1	0,45	0,87	<0,01	0,01
Altura a las caderas	101,3	101,9	0,40	0,91	<0,01	0,44
Circunferencia	115,7	118,8	0,45	0,33	<0,01	<0,01
Ancho entre caderas	26,2	27,1	0,19	0,57	<0,01	0,02
Período residual						
Peso	213,8	234,1	3,97	0,03	<0,01	0,60
Altura a la cruz	112,6	114,7	0,50	<0,01	<0,01	0,06
Altura a las caderas	118,2	120,0	0,52	0,23	<0,01	0,76
Circunferencia	140,6	145,2	0,76	<0,01	<0,01	0,26
Ancho entre caderas	33,2	34,7	0,30	0,12	<0,01	0,96

TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 1000-1100 g/día; EEM = error estándar de la media. Trat = efecto de tratamiento; Día = Efecto de día; Trat x día = efecto de interacción tratamiento por día.

Cuadro V. Ecuaciones de evolución de peso y medidas morfológicas en el período de aplicación o residual ($Y = \text{intercepto} + \text{día} \times \beta_1$). Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar de cada parámetro de la ecuación correspondiente.

	TMEDIA		TALTA	
	Intercepto	β_1	Intercepto	β_1
Período de aplicación				
Peso, kg	82,5 (1,9)	0,597 (0,020)	81,4 (1,4)	0,799 (0,020)
Altura a la cruz, cm	88,0 (0,6)	0,148 (0,006)	87,9 (0,6)	0,171 (0,006)
Altura a las caderas, cm	91,8 (0,6)	0,163 (0,007)	91,9 (0,6)	0,171 (0,007)
Ancho entre caderas, cm	22,4 (0,3)	0,065 (0,003)	22,6 (0,3)	0,077 (0,003)
Circunferencia torácica, cm	102,8 (0,7)	0,219 (0,009)	103,7 (0,7)	0,256 (0,009)
Período residual				
Peso, kg	151,8 (3,6)	0,788 (0,036)	174,2 (4,0)	0,761 (0,036)
Altura a la cruz, cm	106,3 (0,9)	0,087 (0,006)	109,6 (1,1)	0,070 (0,006)
Altura a las caderas, cm	111,3 (0,9)	0,095 (0,007)	113,2 (1,2)	0,092 (0,009)
Ancho entre caderas, cm	30,1 (0,4)	0,042 (0,003)	31,7 (0,5)	0,042 (0,003)
Circunferencia torácica, cm	127,2 (1,0)	0,185 (0,087)	132,7 (1,4)	0,171 (0,087)

TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 1000-1100 g/día.

Los resultados del efecto de los tratamientos sobre la proporción de vaquillonas que llegaron a pubertad se presentan en la Figura 4. Si bien no se detectó un efecto del tratamiento sobre la proporción de vaquillonas que llegaron a pubertad ($P = 0,26$), se detectó una interacción entre el tratamiento y el momento de medición ($P = 0,02$); en este sentido, al día 310 de vida la proporción de vaquillonas que habían llegado a pubertad en TMEDIA era 0,56 en comparación con 0,24 en TALTA, mientras que estos valores al día 350 eran 0,78 y 0,47, respectivamente, siendo estos valores significativamente diferentes entre sí. Sin embargo, las vaquillonas TMEDIA alcanzaron la pubertad con un peso promedio menor respecto a las vaquillonas TALTA (244 vs 289 kg; EEM = 9,3; $P < 0,001$).

Cuadro VI. Concentraciones sanguíneas de IGF-I, insulina y glucosa medidas en el período de aplicación o durante el período residual.

	TMEDIA	TALTA	EEM	<i>P > F</i>		
				Trat	Día	Trat x día
Período de aplicación						
IGF-I, ng/mL	203,8	239,0	16,35	0,08	<0,01	0,24
Insulina, μ IU, mL	12,6	14,3	1,19	0,26	<0,01	0,69
Glucosa, mM	4,6	4,9	0,09	0,12	<0,01	0,89
Período residual						
IGF-I, ng/mL	253,5	243,3	12,54	0,59	<0,01	0,06
Insulina, μ IU, mL	12,8	14,1	1,59	0,41	0,06	0,92
Glucosa, mM	4,2	4,2	0,08	0,88	<0,01	0,98

TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 1000-1100 g/día.

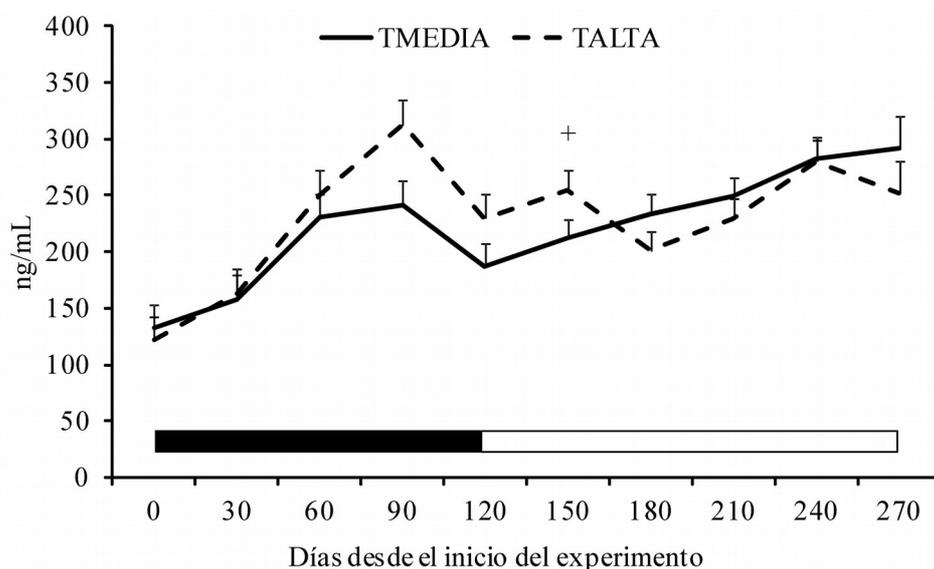


Figura 3. Concentración sanguínea de IGF-I en el período de aplicación (barra negra) o residual (barra blanca). En el período de aplicación se detectó una tendencia hacia un efecto del tratamiento ($P = 0,08$), y en el período residual se detectó una tendencia hacia una interacción entre tratamiento y momento de medición ($P = 0,06$). Las cruces en cada día indican la existencia de al menos una diferencia entre tratamientos ($0,05 < P \leq 0,10$). TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 1000-1100 g/día.

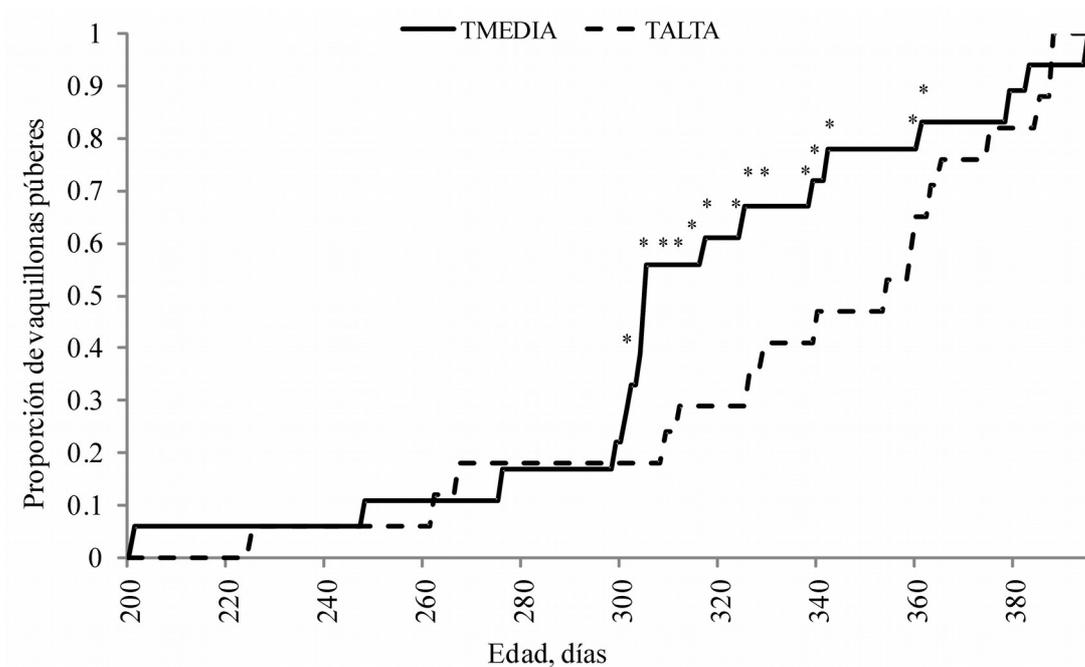


Figura 4. Proporción de vaquillonas púberes según edad. TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 700-800 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 1000-1100 g/día. Para una determinada edad, los asteriscos indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos.

Como era esperable, la variación en la cantidad de alimento ofrecido a los animales tuvo efectos marcados sobre el comportamiento de los animales, así como sobre la cantidad de alimento consumido. En este experimento, los tratamientos fueron diseñados de forma de ofertar una cantidad de alimento con una alta densidad de nutrientes pero de forma restringida. Esto condujo a que, si bien tanto la TCMS como el porcentaje del tiempo promedio que los animales dedicaron a comer fuera mayor en las vaquillonas TALTA respecto a TMEDIA, en ambos tratamientos los animales consumieron el alimento de forma muy rápida y por un corto período de tiempo, particularmente hacia el final del período de aplicación. Por ejemplo, en la medición realizada al final del mismo, los animales en TMEDIA y TALTA terminaron de consumir todo el alimento ofrecido hacia las 4 y 6 h, respectivamente. Estos resultados de comportamiento coinciden con lo reportado por Kitts et al. (2011) para vaquillonas alimentadas con un sistema similar al del presente experimento.

En ambos tratamientos el porcentaje del tiempo que los animales destinaron a descansar parados aumentó rápidamente a partir de las primeras horas luego de la oferta de RTM, lo que es indicativo de la oferta restringida de alimento; en particular, en la medición realizada al final del período de aplicación de los tratamientos, las vaquillonas TMEDIA destinaron un mayor porcentaje del tiempo disponible a descansar paradas, lo que según algunos autores podría considerarse como un indicador de un pobre bienestar de los animales (Greter et al., 2015). Otros autores han registrado este tipo de comportamiento en vaquillonas manejadas con una oferta restringida de alimento, y además también observaron que estos animales vocalizan con mayor frecuencia, posiblemente como una señal de hambre (Hoffman et al., 2007). Adicionalmente, se ha reportado que animales que tienen una elevada TCMS, debido a una reducción en el tiempo de acceso al alimento, presentan caídas en el pH ruminal muy acentuadas (Cajarville et al., 2006). Esto podría sugerir que en el presente experimento, las altas TCMS registradas al inicio de la sesión de alimentación en ambos tratamientos, pero en especial en TALTA, podrían haber afectado negativamente la digestión de los nutrientes. Es preciso generar más información que vincule los efectos de la cantidad de alimento ofertado sobre el comportamiento, la digestión y la utilización de los nutrientes en esta categoría.

Las ganancias de peso logradas en los tratamientos fueron inferiores a las planificadas. No está claro el motivo exacto, pero pudo haber estado asociado al uso de alguno de los ingredientes para la confección de la RTM, particularmente el ensilaje de maíz. En este sentido, Drackley (2008) indicó que una recomendación clásica entre técnicos ha sido evitar ofrecer ensilajes a vaquillonas de menos de 6 meses de edad, pero que dicha recomendación no tenía un sustento científico, y que las vaquillonas podrían ser alimentadas con este alimento desde una edad temprana, siempre que haya un período de acostumbramiento. Sin embargo, es posible que, en este experimento, el período de acostumbramiento a este alimento, que no había sido ofrecido previamente a los animales, haya sido menor al requerido. En este sentido, algunos aspectos intrínsecos del ensilaje, como su acidez, puede haber afectado negativamente el ambiente ruminal y/o la digestión de los nutrientes (Van Soest, 1994), pero es preciso generar información específica al respecto, ya que los ensilajes son alimentos comúnmente encontrados en los tambos y podrían ser usados en la alimentación de la recria.

Por otra parte, las ganancias de peso observadas en este trabajo son superiores a las reportadas en un relevamiento de campos de recria realizado por Costa et al. (2010), que

fueron de 416 g/día, con un rango de entre 300 y 547 g/día. Esto puede deberse a que en estos campos de recría el principal alimento que ofrece a los animales es campo natural (en general de calidad baja respecto a los requerimientos de esta categoría), mientras que en este trabajo se ofreció a los animales una RTM ajustada para cubrir los requerimientos de los principales nutrientes. Por otra parte, los valores de peso y altura a la cruz para las edades en que fueron evaluadas se encuentran dentro de los promedios señalados por James (2011) para vaquillonas Holstein.

Estos resultados coinciden con otros experimentos reportados en la literatura. Por ejemplo, Kertz et al. (1987) reportaron una mayor ganancia de peso y circunferencia torácica en vaquillonas sometidas a distintos planos de alimentación entre los días 187 y 369 de vida, si bien no observaron diferencias en altura a la cruz. Abeni et al. (2000) alimentaron a vaquillonas de 150 kg durante 7 meses consecutivos con ofertas contrastantes de nutrientes y observaron una mayor ganancia de peso, así como una mayor altura a la cruz y una mayor circunferencia torácica en los animales manejados con una mayor oferta de nutrientes. Daccarett et al. (1993) alimentaron a terneras entre los meses 3 y 6 de vida con distinto aporte de energía y observaron que aquellas alimentadas con mayor cantidad de energía tuvieron una mayor ganancia de peso, y que al final del experimento fueron más largas, tuvieron mayor altura a la cruz y circunferencia torácica.

El mayor crecimiento y desarrollo evidenciado por las vaquillonas TALTA durante el período de aplicación de los tratamientos está asociado a la mayor ingesta de nutrientes, particularmente energía y proteína, en dicho tratamiento, respecto a las vaquillonas TMEDIA (Breier et al., 2000). Además, una mayor ingesta de nutrientes estimula la secreción hepática de IGF-I, que promueve el crecimiento corporal a través del estímulo de la proliferación celular en la mayor parte de las células del cuerpo animal, incluyendo los músculos y huesos (Kopchick & Cioffi, 1991). De hecho, diversos autores han reportado que vaquillonas pre-púberes manejadas con un mayor plano de alimentación presentan mayores concentraciones de IGF-I en plasma (Lammers et al., 1999; Chelikani et al., 2009).

Es de destacar que las vaquillonas TALTA no solo tuvieron una mayor ganancia de peso sino también un mayor desarrollo corporal que las vaquillonas TMEDIA. Por lo tanto, el mayor crecimiento observado por las vaquillonas TALTA durante el período de aplicación de los tratamientos no afectaría negativamente el desarrollo de la glándula mamaria, ya que no se habría superado el valor identificado como crítico de 900 g/día, por encima del cual podría ocurrir un engrasamiento de la glándula mamaria (Zanton & Heinrichs, 2005). Asimismo, la RTM usada tenía una relación PC / EM de 85 g/Mcal, que está por encima de los valores mínimos recomendados para reducir los efectos adversos de un crecimiento acelerado sobre el desarrollo mamario (Whitlock et al., 2002).

Con respecto al impacto de los tratamientos durante el período de evaluación residual, no se observaron efectos de los mismos sobre la mayoría de las variables evaluadas. Solamente se observó una tendencia a una mayor tasa de ganancia de altura a la cruz en las vaquillonas TMEDIA, para lo cual no se le pudo encontrar una explicación. La ausencia de diferencias en la mayoría de las variables medidas en este período puede deberse a que, durante el mismo, los animales fueron manejados como un único grupo y por lo tanto tuvieron acceso a la misma oferta de alimento. Si bien no fue medido, es

posible suponer que, dado que la oferta de alimento no difirió entre tratamientos, entonces el consumo de alimento y el aporte de precursores para sostener el crecimiento corporal también habrían sido similares entre tratamientos.

Son pocos los experimentos que reportan los efectos residuales que tienen distintos planos de alimentación sobre el crecimiento y desarrollo de los animales una vez que se terminan los tratamientos. En uno de los escasos trabajos ubicados, Lammers et al. (1999) reportaron que, si bien vaquillonas de 130 kg manejadas con un alto plano de alimentación entre las semanas 19 y 39 de vida tuvieron una mayor ganancia de peso, de altura a la cruz y caderas, y de circunferencia a la altura del pecho durante el período en que se aplicaron los tratamientos, respecto a vaquillonas manejadas con un bajo plano de alimentación, estos últimos animales ganaron más peso entre la semana 39 y el momento del parto.

Si bien es cierto que animales sometidos a una restricción nutricional pueden compensar esa menor ganancia de peso creciendo a tasas más aceleradas una vez que se les ofrece una mayor cantidad de alimento (Drouillard et al., 1991), en nuestro trabajo ese fenómeno no fue observado. Es posible que la restricción alimenticia a la que fueron sometidas las vaquillonas en TMEDIA no haya sido de tal magnitud como para que posteriormente se evidenciara un aceleramiento de la ganancia de peso característico de ese crecimiento compensatorio. Sin embargo, si se consideran la diferencia entre la ganancia de peso durante el período de tratamiento y residual, la misma fue mayor para TMEDIA respecto a TALTA (191 y -38 g/día, respectivamente), y de hecho la ganancia fue menor en el período residual respecto al de tratamiento en el caso de TALTA. Desde este punto de vista podría plantearse que las vaquillonas TALTA se vieron enfrentadas a un descenso en su tasa de desarrollo luego de finalizar el periodo de suplementación.

Las mayores concentraciones promedio de IGF-I en sangre observadas durante el período de aplicación en las vaquillonas TALTA respecto a TMEDIA coincide con lo reportado por otros autores como Lammers et al. (1999), Radcliff et al. (2004), Chelikani et al. (2009) y Weller et al. (2016). La síntesis hepática de IGF-I está altamente correlacionada con el nivel de ARN mensajero hepático que codifica para el receptor GHR-1A de la somatotrofina, y parece ser que un mayor plano de alimentación en terneras jóvenes promovería una mayor expresión del receptor GHR-1A, aumentando la capacidad de unión de la somatotrofina, y por lo tanto, la síntesis hepática de IGF-1 (Moriel et al., 2014). Del mismo modo que en el presente experimento, Chelikani et al. (2009) también observaron que las diferencias en las concentraciones de IGF-I se redujeron hasta desaparecer una vez que todos los animales pasaron a ser manejados con un mismo plano de alimentación.

La falta de efecto de los tratamientos sobre las concentraciones sanguíneas de glucosa difiere con lo reportado por autores como Yelich et al. (1996), quienes reportaron mayores concentraciones de glucosa en vaquillonas alimentadas con un alto plano de alimentación respecto a uno bajo. Abeni et al. (2000) reportaron resultados de 2 experimentos donde vaquillonas post desleche fueron sometidas a 2 planos de alimentación contrastantes en cada uno de ellos, y observaron que las concentraciones de glucosa fueron mayores cuando el plano de alimentación fue mayor en un experimento, mientras que en el otro no hubo diferencias significativas entre tratamientos. La ganancia lograda por los animales en el primer experimento fue 16% mayor en el plano alto de alimentación respecto al bajo, pero solo 10% mayor en el

segundo experimento. Si se considera que la ganancia de peso lograda es indicativa del nivel de consumo de los animales (que no fue medido), estos resultados sugieren que las diferencias en las concentraciones de glucosa se apreciarían cuando los planos de alimentación son lo suficientemente contrastantes, cosa que no habría ocurrido en nuestro experimento. Esto teniendo en cuenta que en los rumiantes la glucosa es un producto de la gluconeogénesis y cuya concentración en sangre tiende a ser estable (Fahey & Berger, 1993).

Algunos autores han reportado que generalmente un mayor plano de alimentación resulta en un aumento de las concentraciones de insulina en sangre en vaquillonas pre-púberes (Peri et al., 1993; Chelikani et al., 2009; Weller et al., 2016). En nuestro trabajo, la falta de efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de insulina es coincidente con la ausencia de diferencias significativas sobre las concentraciones de glucosa; esto es debido a que la secreción pancreática de insulina está directamente influida por las concentraciones de glucosa en sangre (Fahey & Berger, 1993). A su vez, este resultado coincide con lo publicado por Carson et al. (2000), quienes no observaron diferencias entre esta variable en vaquillonas manejadas para lograr ganancias de peso contrastantes (700 o 950 g/día). Las discrepancias entre tratamientos podrían deberse a las diferencias en el aporte de nutrientes entre planos de alimentación usados en cada experimento. Como en ocasiones las dietas contrastantes tenían ingredientes distintos (e.g. Chelikani et al., 2009), parte de las diferencias entre experimentos podrían deberse al tipo de nutrientes suministrados en cada caso. Por ejemplo, Gong et al. (2002) reportaron, en vacas lecheras, que dietas que aportan la misma cantidad de energía, pero con distinta proporción de ingredientes precursores de glucosa, determinaban cambios en la concentración tanto de glucosa como de insulina.

Si bien no hubo diferencias en la proporción de animales que alcanzaron la pubertad al finalizar el experimento, las vaquillonas TMEDIA lo hicieron de forma más rápida respecto a las TALTA, y la alcanzaron con un menor peso. Este resultado difiere de lo encontrado por otros autores, que han reportado que vaquillonas manejadas con un mayor plano de alimentación llegan a la pubertad antes que vaquillonas manejadas con un menor plano de alimentación, aunque con un peso similar (Petitclerc et al., 1983; Bortone et al., 1994; Chelikani et al., 2003). Asimismo, este hallazgo no apoyaría la teoría del peso crítico como desencadenante de la pubertad en bovinos, que ha sido propuesta por otros autores (Foster y Nagatani, 1999).

Si bien está aceptado que la nutrición puede afectar el desarrollo sexual de los bovinos a través de señales que conducen a la liberación pulsátil de la hormona LH, los mecanismos específicos no están claros (Schillo, 2011). Una hipótesis postula que los cambios en las concentraciones sanguíneas de metabolitos y/u hormonas que reflejan el balance de nutrientes son detectados a nivel del sistema nervioso central o periférico, y que estos cambios finalmente se traducen a señales que regulan la secreción de la hormona liberadora de gonadotropinas y la hormona LH (Schillo, 2011). En este sentido, distintos autores, trabajando con terneras lactantes (De Trinidad, 2014; Guggeri et al., 2014; Rodríguez-Sánchez et al., 2015) o luego del desleche (Radcliff et al., 1997, 2004; Lammers et al., 1999; Lammers & Heinrichs, 2000) reportaron que la entrada más temprana a la pubertad en animales manejados con un mayor plano nutricional estuvo asociada a mayores concentraciones sanguíneas de IGF-I. Más específicamente, ratones genéticamente modificados para no expresar el receptor hepático de somatotrofina presentan menores concentraciones sanguíneas de IGF-I y llegan más tarde a la

pubertad que ratones normales; sin embargo, la misma se adelanta cuando se infunde IGF-I directamente en el cerebro (Danilovich et al., 1999), sugiriendo que esta hormona podría ser una de las señales mencionadas.

Por lo anterior, hubiera sido esperable una llegada a la pubertad más temprana en las vaquillonas TALTA respecto a TMEDIA. El resultado opuesto que se obtuvo en este ensayo no tiene una explicación clara. Una posible explicación es que en varios experimentos que reportaron un efecto de un plano alto de alimentación sobre el establecimiento más temprano de la pubertad, los tratamientos fueron aplicados por un período más largo que en el presente experimento, o fueron aplicados en un período más próximo al momento en que se detectó la pubertad en los animales (Petitclerc et al., 1983; Peri et al., 1993; Bortone et al., 1994; Radcliff et al., 1997; Lammers et al., 1999), todo lo que podría haber generado una señal metabólica de mayor intensidad respecto a nuestro experimento. En este sentido, en el presente trabajo las diferencias en la concentración sanguínea de IGF-I (uno de los candidatos que mediaría los efectos de la nutrición sobre la pubertad) disminuyeron hasta desaparecer luego del cese de los tratamientos; esta falta de efecto residual del plano de alimentación aplicado previamente también fue señalado por Chelikani et al. (2009). Asimismo, es posible que las diferencias entre planos de alimentación no hayan sido suficientemente grandes para que se hubieran detectado diferencias a favor de las vaquillonas TALTA.

Como fuera planteado anteriormente, si bien las ganancias de peso durante el período residual no fueron distintas entre tratamientos, en la medida que la diferencia de ganancias de peso entre los períodos residual y de aplicación fue mayor para TMEDIA respecto a TALTA, podría plantearse que las vaquillonas en el primer tratamiento hayan experimentado un crecimiento compensatorio, o bien que las del segundo tratamiento hayan pasado a condiciones menos favorables al terminar el período de alimentación diferencial, y que ese fenómeno haya llevado a una atraso en la pubertad en estos últimos animales. Algunos autores no han encontrado diferencias en el momento de llegada a pubertad entre vaquillonas que experimentan crecimiento compensatorio respecto a las que no (Barash et al., 1994; Choi et al., 1997). Quizás se requiera mayor información con respecto al efecto que genera pasar de un alto plano de alimentación a uno más bajo durante la recría sobre el inicio de la pubertad.

CONCLUSIONES

La aplicación de un plano alto de alimentación en vaquillonas luego del desleche y durante 120 días consecutivos tuvo un efecto positivo sobre las tasas de ganancia de peso y de medidas indicadoras de desarrollo corporal de los animales, respecto a

vaquillonas manejadas con un plano más restrictivo de alimentación, si bien estas diferencias no persistieron una vez finalizada la aplicación de los tratamientos.

Si bien no hubo diferencias en la proporción de vaquillonas que llegaron a la pubertad, la velocidad con que las vaquillonas manejadas con un plano de alimentación más restringido llegaron a la pubertad fue más rápida respecto a las manejadas con un plano más alto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abeni F, Calamari L, Stefanini L, Pirlo G. (2000). Effects of daily gain in pre- and postpubertal replacement dairy heifers on body condition score, body size, metabolic profile, and future milk production. *J Dairy Sci* 83:1468–1478.

2. Adrien L, Mattiauda D, Artegoitia V, Carriquiry M, Motta G, Bentancur O, Meikle A. (2012). Nutritional regulation of body condition score at the initiation of the transition period in primiparous and multiparous dairy cows under grazing conditions: milk production, resumption of post-partum ovarian cyclicity and metabolic parameters. *Animal* 6:292–299.
3. AOAC International. (1990). *Official Methods of Analysis*. Ed. AOAC International 15^a ed. Arlington.
4. Bach A. (2012). Ruminant nutrition symposium: optimizing performance of the offspring: Nourishing and managing the dam and postnatal calf for optimal lactation, reproduction, and immunity. *J Anim Sci* 90:1835-1845.
5. Barash H, Bar-Meir Y, Bruckental I. (1994). Effects of a low-energy diet followed by a compensatory diet on growth, puberty and milk production in dairy heifers. *Livest Prod Sci* 39:263-268.
6. Beg M, Ginther J. (2006). Follicle selection in cattle and horses: role of intrafollicular factors. *Reproduction* 132:365–377.
7. Berra, G. (2005). Buenas prácticas en la crianza y recría de vaquillonas de tambo. 33as Jornadas Uruguayas de Buiatría. 4-5, Junio, Paysandú, Uruguay, pp.89-110.
8. Bortone E, Morill J, Stevenson J, Feyer- Herm A. (1994). Growth of heifers fed 100 or 155% of National Research Council requirements to 1 year of age then changed to another treatment. *J Dairy Sci* 77:270-277.
9. Breier BH, Oliver MH, Gallaher BW. (2000). Regulation of growth and metabolism during postnatal development. En: Cronjé PB. *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. Ed. CABI Publishing. Wallingford, UK. Cap 11, pp.187-204.
10. Buskirk D, Faulkner D, Ireland F. (1995). Increased postweaning gain of beef heifers enhances fertility and milk production. *J Anim Sci* 73:937–946.
11. Cajarville, C., Aguerre, M., Britos, A., Tebot, I., Pérez, A., Elizondo, V., and Repetto, J.L. (2006). Effect of feeding frequency of fresh forage on ruminal pH: data review. 14th International Symposium Lameness in Ruminants, 7-8, Octubre, Colonia, Uruguay. pp:88-90.
12. Capuco V, Smith J, Waldo D, Rexroad C (1995). Influence of prepubertal dietary regimen on mammary growth of Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 78: 2709–2725.
13. Capuco AV, Dahl GE, Wood DL, Moallem U, Erdman RE. (2004). Effect of bovine somatotropin and rumen-undegradable protein on mammary growth of prepubertal dairy heifers and subsequent milk production. *J Dairy Sci* 87:3762–3769.
14. Carson AF, Wylirl AIG, McEvoy JDC, McCoy, Dawson LER. (2000). The effects of plane of nutrition and diet type on metabolic hormone concentrations, growth and milk production in high genetic merit dairy herd replacements. *Anim Sci* 70:349-362.
15. Chelikani P, Ambrose J, Kennelly J. (2003). Effect of dietary energy and protein density on body composition, attainment of puberty, and ovarian follicular dynamics in dairy heifers. *Theriogenology* 60:707–725.
16. Chelikani P, Ambrose J, Keisler D, Kennelly J. (2009). Effects of dietary energy and protein density on plasma concentrations of leptin and metabolic hormones in dairy heifers. *J Dairy Sci* 92:1430–1441.
17. Choi YJ, Han IK, Woo JH, Lee HJ, Jang K, Myung KH, Kim YS. 1997. Compensatory growth in dairy heifers: The effect of a compensatory growth pattern on growth rate and lactation performance. *J Dairy Sci* 80:519–524.

18. Costa M, Bussoni A, Mello R, Santoro M, Rodríguez D, Landa F. (2010) Campos de recría en el Uruguay: gestión de los recursos y formas contractuales. *Agrociencia* 14:66-76.
19. Daccarett M, Bortone E, Isbell D, Morrill J. (1993). Performance of Holstein heifers fed 100% or more of national research council requirements. *J Dairy Sci* 76:606-614.
20. Danilovich N, Wernsing D, Coschigano KT, Kopchick JJ, Bartke A. 1999. Deficits in female reproductive function in GH-R-KO mice; role of IGF-I. *Endocrinology* 140:2637-2640.
21. De Trinidad, S. (2014). Alimentación diferencial durante la etapa lactante en terneras Holstein: Efectos inmediatos y residuales sobre el crecimiento, desarrollo corporal y pubertad. Tesis de Maestría en Reproducción Animal. Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
22. DIEA. (2014). Anuario estadístico agropecuario 2014. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Dirección de Estadísticas Agropecuarias, Uruguay. Acceso: 2 Agosto, 2015. <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-anuario-2014,O,es,0>, (fecha de consulta: 2/08/15).
23. Di Marco O. (1994). Crecimiento y respuesta animal. Ed. Asociación Argentina de producción animal. Mar del Plata, República Argentina.
24. Diskin MG, Mackey DR, Roche JF, Sreenan JM. (2003). Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle. *Anim Reprod Sci* 78:345-370.
25. Dobos RC, Nandra KS, Riley K, Fulkerson WJ, Lean IJ, Kellaway RC. (2001) Effects of age and liveweight at first calving on first lactation milk, protein and fat yield of Friesian heifers. *Aust J Exp Agric* 41:13–19.
26. Drackley J. (2008). Calf nutrition from birth to breeding. *Vet Clin North Am Food Anim Prac* 24:55-86.
27. Drouillard JS, Ferrell CL, Klopfenstein TJ, Britton RA. (1991). Compensatory growth following metabolizable protein or energy restrictions in beef steers. *J Anim Sci* 69:811-818.
28. Fahey GC, Berger LL. (1993). Carbohydrate nutrition of ruminants. En: Church, DC. *The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition*. Ed. Waveland Press. Prospect Heights, EEUU, Cap. 14, pp.269-297.
29. Fernández Abella DH. (1993). Regulación hormonal del crecimiento de los rumiantes. En: Crecimiento. Ficha de apoyo docente. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. pp.35-45.
30. Fortes M, Li Y, Collis E, Zhang Y, Hawken R. (2013). The IGF1 pathway genes and their association with age of puberty in cattle. *Anim Genet* 44:91-95.
31. Foster D, Nagatani S. (1999). Physiological perspectives on leptin as a regulator of reproduction: Role in timing puberty. *Biol Reprod* 60: 205–215.
32. Gardner RW, Smith LW, Park RL. (1988). Feeding and management of dairy heifers for optimal lifetime productivity. *J Dairy Sci* 71:996-999.
33. Gill GS, Allaire FR. (1976). Relationship of age at first calving, days open, days dry, and herd life to a profit function for dairy cattle. *J Dairy Sci* 59:1131-1139.
34. Gong JG, Lee WJ, Garnsworthy PC, Webb R. (2002). Effect of dietary-induced increases in circulating insulin concentrations during the early postpartum period on reproductive function in dairy cows. *Reproduction* 123:419–427.
35. Greter AM, Miller-Cushon EK, McBride BW, Widowski TM, Duffield TF, DeVries TJ. (2015). Short communication: Limit feeding affects behavior patterns and feeding motivation of dairy heifers. *J Dairy Sci* 98:1248–1254.

36. 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. *Livest Sci* 167:455-462.
37. Hoffman PC, Simson CR, Wattiaux M. (2007). Limit feeding of gravid Holstein heifers: Effect on growth, manure nutrient excretion, and subsequent early lactation performance. *J Dairy Sci* 90:946–954.
38. INALE. (2015). Primeros resultados de la Encuesta Lechera INALE 2014. Instituto Nacional de la Leche. Uruguay. Acceso: 15 Agosto, 2015. <http://www.inale.org/innovaportal/file/4086/1/encuesta-lechera-2014--presentacion-resultados-preliminares-foro-a.pdf>.
39. INALE (2017). Remisión a planta. Instituto Nacional de la Leche. Uruguay. Acceso: 1 de noviembre de 2017. <http://www.inale.org/innovaportal/v/1963/4/innova.front/remision-a-planta.html>
40. James R. (2011). Growth standards and nutrient requirements. *En*: Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2ª edición. Academic Press. pp: 390-395.
41. Kaps M, Lamberson WR. (2007). *Biostatistics for animal science*. Ed. CABI Publishing. Wallingford, UK.
42. Keown JF, Everett RW. (1986). Effect of days carried calf, days dry, and weight of first calf heifers on yield. *J Dairy Sci* 69: 1891-1896.
43. Kertz A, Prewitt I, Ballam J. (1987) Increased weight gain and effects on growth parameters of holstein heifer calves from 3 to 12 months of age. *J Dairy Sci* 70:1612-1622.
44. Kertz A, Barton B, Reutzel I. (1998) Relative efficiencies of wither height and body weight increase from birth until first calving in Holstein cattle. *J Dairy Sci* 81:1479-1482.
45. Kitts BL, Duncan IHJ, McBride BW, DeVries TJ. (2011). Effect of the provision of a low-nutritive feedstuff on the behavior of dairy heifers limit fed a high-concentrate ration. *J Dairy Sci* 94:940–950.
46. Knight CH, Wilde CJ. (1993). Mammary cell changes during pregnancy and lactation. *Livest Prod Sci* 35:3-19.
47. Kopchick J, Cioffi J. (1991). Exogenous and endogenous effects of growth hormone in animals. *Livest Prod Sci* 27:61-75.
48. Krpáľková L, Cabrera V, Vacek M, Štípková M, Stádník L, Crump P. (2014) Effect of prepubertal and postpubertal growth and age at first calving on production and reproduction traits during the first 3 lactations in Holstein dairy cattle. *J Dairy Sci* 97:3017–3027.
49. Kuhn MT, Hutchison JL, Wiggans GR. (2006). Characterization of Holstein heifer fertility in the United States. *J Dairy Sci* 89:4907–4920.
50. Lammers BP, Heinrichs AJ, Kensinger R. (1999) The effects of accelerated growth rates and estrogen implants in prepubertal Holstein heifers on estimates of mammary development and subsequent reproduction and milk production. *J Anim Sci* 82:1753–1764.
51. Lammers BP, Heinrichs AJ. (2000). The response of altering the ratio of dietary protein to energy on growth, feed efficiency, and mammary development in rapidly growing prepubertal heifers. *J Dairy Sci* 83:977-983.
52. Le Cozler Y, Lollivier V, Lacasse P, Disenhaus C. (2008). Rearing strategy and optimizing first-calving targets in dairy heifers: A review. *Animal* 2:1393–1404.

53. Lin CY, McAllister AJ, Batra TR, Lee AJ, Roy GL, Vesely JA, Wauthy JM, Winter KA. (1986). Production and reproduction of early and late bred dairy heifers. *J Dairy Sci* 69:760-768.
54. Lin CY, McAllister AJ, Batra TR, Lee AJ, Roy GL, Vesely JA, Wauthy JM, Winter KA. (1988). Effects of early and late breeding of heifers on multiple lactation performance of dairy cows. *J Dairy Sci* 71: 2735-2743.
55. Lohakare J, Südekum K, Pattanaik A. (2012). Nutrition-induced changes of growth from birth to first calving and its impact on mammary development and first-lactation milk yield in dairy heifers: A review. *Asian-Aust J Anim Sci* 25:1338-1350.
56. Luna-Pinto G, Cronjé PB. (2000). The roles of the insulin-like growth factor system and leptin as possible mediators of the effects of nutritional restriction on age at puberty and compensatory growth in dairy heifers. *South Afr J Anim Sci* 30:155-163.
57. Martin P, Bateson P. (1993). *Measuring behavior. An introductory guide.* Ed. Cambridge University Press. 2^a ed. Cambridge.
58. Mieres JM, Torres I, Acosta YM, La Manna A. (2008). Encierro estratégico. La importancia de la proteína. Serie actividades de difusión N° 549. INIA. Montevideo. pp.39-42.
59. Mieres JM, Acosta YM, La Manna A, Pla M. (2010). Importancia de la fibra y el procesamiento del grano en la ganancia de peso de vaquillonas Holando. Serie actividades de difusión N° 610. INIA. Montevideo. pp.87-91.
60. Moriel P, Johnson SE, Vendramini JMB, Mercadante VRG, Hersom MJ, Arthington JD. (2014). Effects of calf weaning age and subsequent management system on growth and reproductive performance of beef heifers. *J Anim Sci* 92:3096-3107.
61. Morrison S, Wicks H, Fallon R, Twigge J, Dawson L, Wylie R, Carson F. (2009). Effects of feeding level and protein content of milk replacer on the performance of dairy herd replacements. *Animal* 3:1570–1579.
62. Morrison S, Wicks H, Carson F, Fallon R, Twigge J, Kilpatrick D, Watson S. (2012). The effect of calf nutrition on the performance of dairy herd replacements. *Animal* 6:909–919.
63. NRC. National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle.* Ed. National Academy Press. 7^a ed. Washington.
64. NRC. National Research Council. (1989). *Nutrient requirements of dairy cattle.* Ed. National Academy Press. 6^a ed. Washington.
65. Peri I, Gertler A, Bruckental I, Barash H. (1993). The effect of manipulation in energy allowance during the rearing period of heifers on hormone concentrations and milk production in first lactation cows. *J Dairy Sci* 76:742-751.
66. Perry G. (2012). Harnessing basic knowledge of factors controlling puberty to improve synchronization of estrus and fertility in heifers. *J Anim Sci* 90:1172-1182.
67. Petittlerc D, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA. (1983). Body growth, growth hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *J Anim Sci* 57:892-898.
68. Pirlo G, Miglior F, Speroni M. (2000). Effect of age at first calving on production traits and on difference between milk returns and rearing costs in Italian Holsteins. *J Dairy Sci* 83:603–608.

69. Radcliff RP, Vandehaar MJ, Skidmore AL, Chapin LT, Radke BR, Lloyd JW. (1997). Effects of diet and bovine somatotropin on heifer growth and mammary development. *J Dairy Sci* 80:1996-2003.
70. Radcliff RP, VandeHaar MJ, Kobayashi Y, Sharma BK, Tucker HA, Lucy MC. (2004). Effect of dietary energy and somatotropin on components of the somatotropic axis in Holstein heifers. *J Dairy Sci* 87:1229–1235.
71. Rodríguez-Sánchez JA, Sanz A, Tamanini C, Casasús I. (2015). Metabolic, endocrine, and reproductive responses of beef heifers submitted to different growth strategies during the lactation and rearing periods. *J Anim Sci* 93:3871–3885.
72. Schillo K, Hall J, Hileman S. (1992). Effects of nutrition and season on the onset of puberty in the beef heifer. *J Anim Sci* 70:3994–4005.
73. Schillo K. (2011). Puberty. *En*: Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2ª edición. Academic Press. pp.421-427.
74. Sejrsen K, Purup S, Vestergaard M, Foldager J. (2000). High body weight gain and reduced bovine mammary growth: physiological basis and implications for milk yield potential. *Dom Anim Endoc* 19:93-104.
75. Shamay A, Werner D, Moallem U, Barash H, Bruckental I. (2005). Effect of nursing management and skeletal size at weaning on puberty, skeletal growth rate, and milk production during first lactation of dairy heifers. *J Dairy Sci* 88:1460–1469.
76. Silva LFP, VandeHaar MJ, Whitlock BK, Radcliff RP, Tucker HA. (2002). Short communication: Relationship between body growth and mammary development in dairy heifers. *J Dairy Sci* 85:2600-2602.
77. Simerl NA, Wilcox CJ, Thatcher WW, Martin FG. (1991). Prepartum and peripartum reproductive performance of dairy heifers freshening at young ages. *J Dairy Sci* 74:1724-1729.
78. Smith G, Fitzhugh H, Cundiff L, Cartwright T, Gregory K. (1976). A genetic analysis of maturing patterns in straightbred and crossbred Hereford, Angus, and Shorthorn cattle. *J Anim Sci* 43:389–395.
79. Terré M, Tejero C, Bach A. (2009). Long-term effects on heifer performance of an enhanced-growth feeding programme applied during the preweaning period. *J Dairy Res* 76:331–339.
80. VandeHaar MJ. (1997). Dietary protein and mammary development of heifers: analysis from literature data. *J Dairy Sci* 80 (Suppl 1):216 (abstract).
81. Van Amburgh ME, Galton DM, Bauman DE, Everett RW, Fox DG, Chase E, Erb HN. (1998). Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *J Dairy Sci* 81:527-538.
82. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 74:3583-3597.
83. Van Soest PJ. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Ed. Cornell University Press. 2ª ed. New York.
84. Weller MMDCA, Albino RL, Marcondes MI, Silva W, Daniels KM, Campos MM, Duarte MS, Mescouto ML, Silva FF, Guimarães SEF. (2016). Effects of nutrient intake level on mammary parenchyma growth and gene expression in crossbred (Holstein × Gyr) prepubertal heifers. *J. Dairy Sci*. 99:9962–9973.
85. Whitlock BK, VandeHaar MJ, Silva LFP, Tucker HA. (2002). Effect of dietary protein on prepubertal mammary development in rapidly growing dairy heifers. *J Dairy Sci* 85:1516-1525.

86. Yelich J, Wettemann R, Marston T, Spicer L. (1996). Luteinizing hormone, growth hormone, insulin-like growth factor-1, insulin and metabolites before puberty in heifers fed to gain at two rates. *Dom Anim Endocrinol* 13:325–338.
87. Zanton G, Heinrichs AJ. (2005). Meta-analysis to assess effect of prepubertal average daily gain of Holstein heifers on first-lactation production. *J Dairy Sci* 88:3860–3867.
88. Zanton G, Heinrichs AJ. (2009). Review: Limit-feeding with altered forage-to-concentrate levels in dairy heifer diets. *Prof Anim Sci* 25:393–403.

ANEXO

Título del manuscrito: Effect of post-weaning feeding levels on ingestive behavior, growth and development in Holstein dairy heifers

Autores: Emanuel De la Quintana; Alejandro Mendoza; Cecilia Cajarville; Oscar Bentancur; José Luis Repetto

Enviado a publicar a Ciencia Rural (Brasil) (ISSN 1678-4596)