



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA

**INTERACCIÓN ENTRE PLANO DE ALIMENTACIÓN PRE Y POS DESLECHE EN
TERNERAS HOLSTEIN: EFECTOS SOBRE EL CRECIMIENTO CORPORAL, EL
DESARROLLO REPRODUCTIVO Y MAMARIO DURANTE LA RECRÍA**

Por

Valentina Carmen QUIJANO ROMERO
César Francisco ROBAINA SHANNON

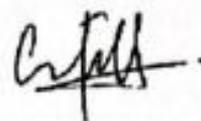
TESIS DE GRADO presentada como uno de
los requisitos para obtener el título de Doctor
en Ciencias Veterinarias (Orientación
Producción Animal)

MODALIDAD: Ensayo Experimental

MONTEVIDEO
URUGUAY
2022

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:



Presidente de mesa:

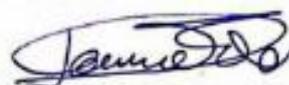
Carolina Fiol

Segundo miembro (Tutor):



Germán Antúnez Tort

Tercer miembro:



Danilo Fila

Cuarto miembro:

José Luis Repetto

Quinto miembro

Cecilia Cajarville

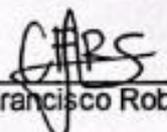
Fecha:

20/04/2022

Autores:



Valentina Carreras Quijano Romero



César Francisco Robaina Shannon

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor el Dr. Germán Antúnez y a nuestros co-tutores Dr. José Luis Repetto y Dra. Cecilia Cajarville por la gran dedicación que tuvieron tanto a lo largo del ensayo experimental como en el transcurso de la tesis.

Al Dr. Danilo Fila y Gonzalo Rosés por los equipos de ultrasonografía, el entrenamiento en sus uso y la ayuda en el procesamiento de imágenes.

A todo el personal del IPAV, por ayudarnos día a día durante el experimento, en especial a Juan Dayuto y Cinthya Fernández.

A todos nuestros compañeros y amigos que la carrera nos dejó.

A nuestros familiares y amigos por apoyarnos siempre durante toda esta extensa etapa.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| PÁGINA DE APROBACIÓN | 2 |
| AGRADECIMIENTOS | 3 |
| TABLA DE CONTENIDOS | 4 |
| LISTA DE CUADROS Y FIGURAS | 5 |
| ABREVIATURAS | 6 |
| 1. RESUMEN | 7 |
| 2. SUMMARY | 8 |
| 3. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 10 |
| 4.1. Cría y recría de hembras lecheras en Uruguay. | 10 |
| 4.2. Crecimiento y desarrollo corporal | 11 |
| 4.3. Mecanismos que regulan el crecimiento corporal. | 12 |
| 4.4. Efecto de la alimentación pre- y pos-desleche sobre la pubertad | 13 |
| 4.5. Desarrollo de la glándula mamaria. | 13 |
| 5. HIPÓTESIS | 16 |
| 6. OBJETIVOS | 16 |
| 6.1. Objetivo general | 16 |
| 6.2. Objetivos específicos | 16 |
| 7. MATERIALES Y MÉTODOS | 17 |
| 7.1. Diseño experimental | 17 |
| 7.2. Mediciones y determinaciones | 18 |
| 7.3. Composición química de los alimentos | 19 |
| 7.4. Análisis estadístico | 20 |
| 8. RESULTADOS | 22 |
| 8.1. Crecimiento corporal | 22 |
| 8.2. Edad y desarrollo corporal al primer estro | 23 |
| 8.3. Desarrollo de la ubre y el parénquima mamario | 23 |
| 9. DISCUSIÓN | 27 |
| 10. CONCLUSIÓN | 30 |
| 11. REFERENCIAS | 31 |

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Esquema de aplicación de los tratamientos..... | 17 |
| Cuadro 2. Composición química de los alimentos utilizados..... | 18 |
| Cuadro 3. Crecimiento corporal de las terneras lecheras durante el período pre-desleche (0-56 días de vida)..... | 21 |
| Cuadro 4. Efecto del tratamiento pre-desleche y pos-desleche sobre el crecimiento corporal de las terneras durante el periodo que se aplicaron los tratamientos pos-desleche (57 a 147 días de vida) y durante el periodo residual (148 a 365 días de vida)..... | 23 |
| Cuadro 5. Edad y crecimiento corporal al primer celo, intensidad de pixeles del parénquima mamario y morfometría de la ubre de terneras lecheras de reemplazo..... | 24 |

FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Peso vivo de las terneras durante la etapa pre-desleche (a), pos-desleche (b) y el primer año de vida (c)..... | 26 |
|---|----|

ABREVIATURAS

AA: Plano nutricional alto pre-desleche y alto pos-desleche.

AB: Plano nutricional alto pre-desleche y bajo pos-desleche.

AC: Altura a la cruz.

ACAD: Altura de cadera.

ANCH: Ancho de cadera.

BA: Plano nutricional bajo pre-desleche y alto pos-desleche.

BB: Plano nutricional bajo pre-desleche y bajo pos-desleche.

EPP: Edad al primer parto.

EPS: Edad al primer servicio.

GH: Hormona de crecimiento.

IGF-1: Factor de crecimiento similar a Insulina.

Píxel: del acrónimo del inglés "*picture element*", es la superficie homogénea más pequeña que componen una imagen, que se define por su brillo y color.

PV: Peso vivo.

US: Ultrasonografía.

1. RESUMEN

El objetivo fue analizar el efecto combinado del plano de alimentación durante las etapas pre- y pos-desleche sobre el crecimiento corporal, el desarrollo mamario y el desarrollo reproductivo de terneras Holando. Cuarenta y ocho terneras ($6\pm 2,0$ días de edad y $41\pm 0,5$ kg de peso vivo) fueron bloqueadas y asignadas al azar a un programa nutricional *Alto* o *Bajo* pre-desleche (día 7 a 56) y a un programa nutricional *Alto* o *Bajo* pos-desleche (día 57 a 147), conformándose cuatro combinaciones de tratamientos (AA: *Alto-Alto*; AB: *Alto-Bajo*; BA: *Bajo-Alto*; BB: *Bajo-Bajo*). Durante la etapa pre-desleche recibieron sustituto lácteo a razón de 20% (*Alto*) o 10% (*Bajo*) del peso vivo (PV) inicial y concentrado iniciador *ad libitum*. Todas fueron deslechadas en forma gradual entre el día 49 y 56 de vida. En la etapa pos-desleche las terneras se alojaron en pares y fueron alimentadas para lograr ganancias de 700-800 g PV/d (*Alto*) o 400-500 g PV/d (*Bajo*). Se determinó peso, altura a la cadera, ancho de cadera y condición corporal hasta el día 365 de vida. Además, se determinaron las concentraciones de IGF-1 (día 55 y 150 de vida) y a los 220 kg de PV se colocaron parches de detección de actividad de monta. A los 260 y 360 días de vida se realizaron medidas morfométricas de la ubre y el parénquima mamario se determinó mediante ultrasonografía. Durante la etapa pre-desleche, las terneras que recibieron un tratamiento *Alto* fueron más pesadas ($P < 0,05$), tuvieron mayor tasa de crecimiento en altura ($P < 0,05$) y tendieron a ser más altas ($P = 0,05$). Las terneras del tratamiento pos-desleche *Alto* tuvieron mayores ganancias diarias de PV, mayor PV, mayores concentraciones de IGF-1 ($P < 0,05$), tendieron a tener mayor ancho de cadera ($P = 0,065$) y mayor condición corporal ($P = 0,099$). No se detectaron interacciones entre los tratamientos pre- y pos-desleche, ni efecto del tratamiento pre-desleche sobre ninguna de las variables de crecimiento corporal entre los días 57 a 147 ni 147 a 365 días de vida. Tampoco fueron detectadas interacciones Pre x Pos x Edad en ninguna de las variables de crecimiento corporal durante los periodos mencionados, a excepción del PV donde las terneras del tratamiento AA fueron más pesadas que BB y AB a entre los días 77-147 y 119-147, respectivamente ($P < 0,05$). Al día 147 de vida las terneras del tratamiento BA tuvieron PV similar a las terneras AA, pero fueron más pesadas que BB y AB ($P < 0,05$). La edad al primer estro no fue afectada por los tratamientos, aunque las terneras de tratamiento pre-desleche *Alto* tendieron a lograrlo con mayor PV ($P = 0,08$). Por otra parte, las terneras que recibieron un tratamiento *Alto* pos-desleche tendieron a tener mayor intensidad de pixeles en el parénquima mamario ($P = 0,06$). Se concluye que se producen escasas interacciones entre los tratamientos pre- y pos-desleche sobre el crecimiento corporal. Además, un alto nivel de alimentación pre-desleche tiende a aumentar el peso con que se produce el primer celo, mientras que un mayor plano de alimentación pos-desleche tiende a incrementar la ecogenicidad del parénquima mamario, independientemente de la alimentación pre-desleche recibida.

2. SUMMARY

The objective was to analyze the combined effect of the feeding plane during the pre- and post-weaning periods on Holstein heifers body growth, mammary and reproductive development. Forty-eight female calves (6 ± 2.0 d and 41 ± 0.5 kg BW) were blocked and randomly assigned to a *High* or *Low* pre-weaning nutritional program (from 7th to 56th day of life), and a *High* or *Low* post-weaning nutritional program (day 57th to 147th), forming four combinations (AA: *High-High*; AB: *High-Low*; BA: *Low-High*; BB: *Low-Low*). During the pre-weaning stage, the starter concentrate was offered *ad libitum*, and they received milk replacer at a rate of 20% (*High*) or 10% (*Low*) of initial BW and were weaned from d 49 to 56 of life. After weaning, calves were housed in pairs and were fed to achieve 700-800 g of ADG / d (*High*) or 400-500 g ADG/ d (*Low*). Up to 365 d of life bodyweight, hip height, hip-width, and body condition score were determined. Furthermore, IGF-1 concentrations were determined, and heat detection patches were placed at 220 kg of BW. At 260 and 360 days of life, morphometric measurements of the udder and ultrasound measurements of the mammary parenchyma were performed. Calves that received a *High* pre-weaning treatment were heavier, had greater height growth ($P < 0.05$), and tended to be taller ($P = 0.05$). Calves from the *High* post-weaning treatment had higher daily BW gains, higher BW, higher IGF-1 concentrations ($P < 0.05$), tended to have greater hip width ($P = 0.065$), and higher body condition score ($P = 0.099$). No interactions were detected between pre- and post-weaning treatments, nor effect of pre-weaning treatment on any of the body growth variables between days 57 to 147 and 147 to 365 days of life. Nor were Pre x Post x Age interactions detected in any of the body growth variables during the periods mentioned, except for the PV where the calves of the AA treatment were heavier than BB and AB between days 77-147 and 119-147, respectively ($P < 0.05$). At day 147 of life, calves from treatment BA had similar BW to AA calves, but were heavier than BB and AB ($P < 0.05$). Age at first estrus was not affected by treatments, although calves from the *High* pre-weaning treatment tended to achieve it with higher BW ($P = 0.08$). On the other hand, calves receiving a *High* post-weaning treatment tended to have higher pixel intensity in the mammary parenchyma ($P = 0.06$). It is concluded that there are few interactions between pre- and post-weaning treatments on body growth. In addition, a high level of pre-weaning feeding tends to increase the BW at which the first estrus occurs, while a higher level of post-weaning feeding tends to increase the pixel intensity of the mammary parenchyma, regardless of the pre-weaning feeding received.

3. INTRODUCCIÓN

En Uruguay la producción de leche ha tenido un crecimiento de 6,5% promedio anual en los últimos 10 años. Dicho crecimiento se produjo sin variaciones importantes en la superficie lechera ni en el tamaño del rodeo lechero total (Oficina de Estadísticas Agropecuarias, 2018), sugiriendo un proceso de intensificación de los sistemas. A pesar de las mejoras productivas, los procesos de cría y recría de las hembras de reemplazo en los tambos, han sido un proceso que durante varias décadas ha recibido menor atención en comparación con otras categorías. Esto se refleja en una elevada edad al primer servicio (26,6 meses) y primer parto (35,6 meses) reportados en Uruguay (Mejoramiento y Control Lechero Uruguayo, 2013), que son muy superiores a los 24 meses de edad al primer parto sugeridos como óptimos desde el punto de vista biológico y económico (Berra, 2005).

Además de los beneficios productivos de reducir la edad al primer parto, y de la mayor eficiencia de conversión del alimento en crecimiento corporal (Di Marco, 1994), en estas etapas se producen efectos que puede repercutir en forma negativa o positiva a largo plazo (Di Marco, 1994). En este sentido, un plano de alimentación insuficiente puede generar enlentecimiento en el crecimiento corporal y en consecuencia, se retrasa la edad a la pubertad, la edad al primer servicio, y por consiguiente una mayor edad al parto. Por el contrario, cuando el consumo de energía es elevado y el aporte de proteína es restringido durante la etapa prepuberal, se puede producir una excesiva deposición de grasa corporal, pero también a nivel mamario (Van Amburgh, Soberon, Meyer y Molano, 2019).

Si bien hay varios trabajos que evalúan el efecto de la alimentación durante la etapa pre-desleche o pos-desleche sobre el crecimiento corporal, la información sobre los efectos combinados de ambos periodos es limitada. A continuación, se presenta una revisión de la bibliografía sobre los principales procesos fisiológicos evaluados en esta tesis.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Cría y recría de hembras lecheras en Uruguay.

La etapa de cría es el periodo comprendido desde que nace el ternero hasta el desleche (Berra, 2005). Durante este periodo se establece diferentes formas de manejo, que deberían resultar en el desleche de una ternera saludable, con un desarrollo corporal y digestivo acorde a su tamaño y edad (Osacar, Berra y Mate, 2010), siendo estas cantidades insuficientes para lograr altas tasas de crecimiento corporal.

Tradicionalmente los diferentes programas de manejos durante la etapa lactante han centrado su atención en restringir la cantidad de leche o sustituto lácteo a los terneros, para promover el consumo de concentrado, acelerar el desarrollo digestivo y reducir la etapa de lactante (Soberon, Raffrenato, Everett y Van Amburgh, 2012). Sin embargo, varios trabajos sugieren que la capacidad de los terneros para consumir concentrados y extraer nutrientes de estos es muy limitada durante las primeras semanas de vida, por lo que su crecimiento depende en gran medida del volumen de lácteos suministrados (Soberon et al., 2012). Según un relevamiento publicado recientemente en Uruguay, el volumen de leche promedio que reciben los terneros es de 4,5 L por día (Schild, Caffarena, Gil, Sánchez, Riet-Correa y Giannitti, 2020).

Por otra parte, la recría de hembras lecheras se define como la etapa comprendida entre el desleche y el primer parto (Berra, 2005). En Uruguay este proceso se realiza tanto en predios especializados en la recría (conocidos como campos de recría), cómo en el predio de origen de las terneras (Mendoza, 2007). A nivel nacional, existe escasa información sistematizada y reciente sobre el desempeño de las vaquillonas lecheras de reemplazo. No obstante, según Mejoramiento y Control Lechero Uruguayo (2013), en base a registros de más de 55.000 animales, muestra que el promedio de edad para el primer servicio (EPS) fue de 26,6 meses, mientras que la edad del primer parto (EPP) fue de 35,6 meses de vida. Chilibroste y Dutour (2011) en un análisis de diferentes bases de datos de Uruguay, encontraron que el 42% de las vaquillonas tuvieron su primer parto por encima de los 36 meses y una proporción importante llegó al parto con peso relativamente bajo. En dicho estudio, se reporta que la EPP explica una muy baja proporción de las variaciones en el peso vivo de las vaquillonas al primer parto ($R^2 = 0,06$).

Estos datos de EPS y EPP, son muy superiores a los valores potenciales referidos en la bibliografía. Por ejemplo, Pirlo, Miglior y Speroni, (2000) concluyen que la EPP óptima es de 23 a 24 meses y sostienen que, existe una correlación positiva entre la EPP, con los litros de leche y el porcentaje de grasa producidos en la primera lactancia. Por lo tanto, la reducción de la EPP, es clave para acortar el tiempo improductivo de las terneras y mejorar el desempeño productivo futuro (Mendoza, Acosta, Román, Pla y La Manna, 2014).

Es posible que la elevada EPS y EPP se deba a múltiples causas, pero algunos datos podrían indicar que dichos indicadores sean el resultado de estrategias de manejo sanitario y nutricionales deficientes, que retrasan tanto el crecimiento corporal como el desarrollo reproductivo de las vaquillonas (Chilibroste y Dutour, 2011; Costa, Bussoni, Mello, Santoro, Rodríguez y Landa, 2010; Schild et al., 2020).

Según el estudio realizado por Costa et al. (2010), el uso de campos de recría en sus diferentes modalidades, ya sea por contrato de capitalización o contrato de pastoreo, es una herramienta subutilizada por los productores lecheros uruguayos. El tipo de contrato que el productor adopte con el campo de recría no garantiza la eficiencia del proceso. En un relevamiento publicado en 2010 (Costa et al., 2010) se reportaba bajas ganancias diarias de peso (420 g/día), elevada edad al primer servicio y larga estadía en el campos de recría (30 meses).

Algunos autores han sugerido los pesos óptimos que deberían alcanzar las vaquillonas en distintos momentos de la recría. Es así que se han establecido referencias del peso de las terneras en diferentes momentos de la recría en relación a su peso vivo maduro (PVM) estimado. Por ejemplo, se ha establecido que las terneras deberían alcanzar el equivalente a 30% del PVM a los 6 meses de vida, 60% a los quince meses (momento del servicio) y 85-90% del PVM al momento del primer parto (Abeni, Calamari, Stefanini y Pirlo, 2000; National Research Council, 2001). En base a dichas recomendaciones, es posible establecer ganancias diarias que deberían alcanzar las terneras para cumplir con los objetivos mencionados.

4.2. Crecimiento y desarrollo corporal

El crecimiento corporal puede definirse como los cambios medibles que se manifiestan a través del aumento de tamaño corporal o de los órganos y es consecuencia de los procesos metabólicos a nivel celular, así como la ganancia o retención diferencial de tejido magro y adiposo. Según otros autores, el crecimiento es el acúmulo gradual de tejidos que finaliza cuando el animal alcanza la madurez (Ávila Téllez, 2010).

El crecimiento postnatal de los bovinos, medido como ganancia de peso por unidad de tiempo, es acelerado hasta la pubertad y lento a medida que se aproxima a la madurez. Además del aumento de peso, se producen cambios en las proporciones de hueso, grasa y músculo; es así que la acumulación de tejido óseo y muscular es acelerada hasta la pubertad, disminuyendo luego de la misma en detrimento de la acumulación de tejido adiposo (Ávila Téllez, 2010).

Por otra parte, el desarrollo corporal es el resultado de la sucesión de cambios en la conformación corporal, conjuntamente este es acompañado por funciones y/o facultades inherentes al momento productivo del animal (Benevent ,1981, citado por Surraco, 1993). Para definir el desarrollo esquelético del animal se consideran por ejemplo mediciones tales como la altura a la cruz (AC), largo del animal, ancho de cadera (ANCH) y área pélvica. Algunos trabajos reportan que existe asociación entre

estas variables y la producción de leche en la primera lactancia, así como también con la disminución de distocias producidas al momento del parto (Hoffman, 1997).

Las tasas de crecimiento tienen la característica de presentar períodos de crecimiento lento y períodos de crecimiento más rápidos ya que las vaquillonas muestran una gran habilidad compensatoria luego de períodos de crecimiento más lento. Esta variabilidad en la tasa de crecimiento de las vaquillonas puede ser debido a disponibilidad estacional de forraje en cuanto a calidad y cantidad, como también al manejo durante la crianza (Wattiaux, 1994).

4.3. Mecanismos que regulan el crecimiento corporal.

El crecimiento está regulado principalmente por hormonas secretadas endógenas, estimulando o atenuando la síntesis de hormona de crecimiento (GH: por su sigla en inglés). La GH actúa en conjunto con otras hormonas, tales como T3, T4, insulina, esteroides sexuales y glucocorticoides, que tienen efectos sobre el crecimiento corporal y el consumo de alimentos (Fernández Abella, 1993).

Dos de las principales hormonas anabólicas son la insulina y la GH, la primera de ellas estimula la retención proteica, mientras que la segunda favorece la retención tanto de proteínas y cómo de lípidos (Di Marco, 1994). Por lo tanto, la acción conjunta de la GH e insulina determina la composición de la ganancia de peso (Di Marco, 1994). La GH, secretada en la adenohipófisis, favorecer la síntesis hepática del factor de crecimiento similar a insulina tipo 1 (IGF-I por su sigla en inglés), la cual promueve la captación de aminoácidos, que pueden ser utilizados para la síntesis proteica y el desarrollo muscular (Fernández Abella, 1993).

El balance nutricional, el estrés, los cambios ambientales entre otros factores, determinan los niveles de hormonas antes mencionadas, así como la cantidad de sus receptores (Di Marco, 1994). También tienen influencia directa sobre el crecimiento muscular, las hormonas tiroideas que intervienen en el anabolismo y catabolismo celular, en función del balance hormonal y nutricional del animal (Fernández Abella, 1993). Asimismo, los principales agentes inhibidores del crecimiento de todos los tejidos en animales pre-púberes son los glucocorticoides. Cuando la GH está elevada ambas hormonas favorecen la síntesis proteica y/o disminuyen su catabolismo, al mismo tiempo la GH antagoniza el efecto de la insulina en el tejido adiposo por cual la lipogénesis es menor (Di Marco, 1994).

Una restricción nutricional mayor a 30% de los requerimientos y prolongada en el tiempo podría ocasionar, en un animal joven, disminución de la división celular, generando efectos permanentes en el crecimiento y desarrollo (Di Marco, 1994). Sin embargo, algunos autores (Trenkle, 1974 citado por Di Marco, 1994), plantean que la restricción alimenticia controlada, no afecta la concentración de GH en plasma, pero si la de IGF-1, que se restauraría a niveles normales durante la realimentación (Ellenberger et al., 1989 citado por Di Marco, 1994).

4.4. Efecto de la alimentación pre- y pos-desleche sobre la pubertad

Es conocida la relación de la alimentación y el crecimiento corporal con el desarrollo reproductivo (Le Cozler, Lollivier, Lacasse y Disenhaus, 2008), el desarrollo mamario (Van Amburgh et al., 2019) y la producción de leche (Van Amburgh et al., 1998; Roche et al., 2015). El inicio de la pubertad en las vaquillonas está más estrechamente relacionado con el crecimiento corporal que con la edad cronológica de las mismas (Le Cozler et al., 2008). Se ha establecido que las mismas alcanzan la pubertad cuando logran un peso vivo equivalente a 40-58% de su PV maduro (Freetly, Kuehn y Cundiff, 2011; Le Cozler et al., 2008; Van Amburgh et al., 1998). Por lo tanto, las vaquillonas que crecen a mayor ritmo alcanzarían la pubertad a menor edad (Le Cozler et al., 2008). Lo dicho, constituye una ventaja productiva, dado que permite servir vaquillonas de menor edad y más fértiles, dado que existe una relación positiva entre la cantidad de celos previos y la fertilidad al primer servicio (Byerley, Staigmiller, Berardinelli y Short, 1987).

Varios trabajos han analizado el efecto de diferentes estrategias nutricionales sobre la edad a la pubertad, sin embargo, algunos resultados no son coincidentes. Mientras que algunos estudios reportan una reducción en la edad a la pubertad cuando se incrementa el aporte de nutriente durante la etapa pre-desleche a través del aumento en la oferta de leche o SL (Davis Rincker et al., 2011; Mendoza et al., 2016), otros no han encontrado diferencias significativas en la edad a la pubertad (Lage et al., 2017) o la edad a la concepción con las diferentes estrategias de alimentación (Morrison et al., 2009; Terré, Tejero y Bach, 2009).

En un trabajo realizado en Uruguay con vaquillonas Holando, en el que se establecieron dos niveles de alimentación entre los 2 y 5 meses de vida, encontraron que las vaquillonas que tuvieron un mayor plano de alimentación pos-desleche tuvieron mayores ganancias diarias de PV y alcanzaron la pubertad más temprano (De La Quintana, 2017). Otro estudio que también fue realizado en Uruguay (Fiol, Carriquiry y Ungerfeld, 2017), en el que se alimentaron vaquillonas Holstein y cruza Jersey con acceso a espacio de comedero restringido (para lograr competencia por el alimento), encontraron que las vaquillonas dominantes lograron mayores ganancias de PV y alcanzaron la pubertad antes que las subordinadas.

4.5. Desarrollo de la glándula mamaria.

Algunos trabajos clásicos mencionan que el crecimiento y desarrollo del parénquima mamario comienza desde la etapa fetal y se produce en fases alternadas de crecimiento alométrico e isométrico (Sinha y Tucker, 1969; Valentine, Dobos, Lewis, Bartsch y Wickes, 1987). Las estructuras básicas se forman en la etapa fetal y luego del nacimiento se completa la estructura externa de la glándula, pero aun así el desarrollo de las células epiteliales es primario (Sinha y Tucker, 1969). A esta edad,

no se forman alvéolos, pero los conductos mamarios y las almohadillas de grasa crecen a gran velocidad (Purup, Sejrsen, Foldager y Akers, 1993).

Las glándulas mamarias de las terneras alternan sucesivas fases de crecimiento alométrico e isométrico. Desde el nacimiento hasta los 3 meses y desde los 10 hasta los 12 meses de vida el crecimiento es tipo alométrico, mientras que entre las dos etapas de crecimiento isométrico y durante los últimos seis meses de gestación, el parénquima se desarrolla de forma alométrica (Sinha y Tucker, 1969; Swanson y Poffenbarger, 1979; Valentine et al., 1987). El desarrollo mamario prepuberal más rápido se produce desde los 3 a los 9 meses de edad, cuando las terneras suelen tener un peso corporal de entre 90 y 230 kg (Tucker, 1987). Durante esta etapa es cuando el desarrollo mamario de las terneras se vuelve más crítico, siendo sensible a factores nutricionales que pueden repercutir a largo plazo (Johnsson y Hart, 1985; Tucker, 1987). Según Knight y Wilde (1993), en la glándula mamaria se producen importantes cambios en estructura, actividad, tamaño y composición en comparación con otros órganos o tejidos del animal.

Diversos factores propios del animal tales como los ciclos de gestación-lactación, así como factores ambientales externos tales como la alimentación (Knight y Wilde, 1993), el estrés calórico (Dado-Senn, Laporta y Dahl, 2020) y las parasitosis (Perri, Mejía, Licoff, Diab, Formía, Ornstein y Lacau-Mengido, 2013) afectan el desarrollo del parénquima mamario.

A partir de los hallazgos realizados en los años 60, se publicaron numerosos trabajos que reportan menor producción de leche durante la primera lactancia a medida que las terneras aumentaban el consumo de energía y las ganancias diarias de peso durante la etapa pre-pre-puberal (Buskirk et al., 1996; Capuco, Smith, Waldo y Rexroad, 1995; Lammers, Heinrichs y Kensinger, 1999; Radcliff et al., 2000; Sejrsen, Purup, Vestergaard y Foldager, 2000). La menor producción de leche durante la primera lactancia fue observada en diferentes razas y fue evidente con ganancias de peso superiores a 350, 550 y 650 g/día en terneras de raza Jersey, Rojo daneses y Frisona daneses, respectivamente (Hohenboken, Foldager, Jensen, Madsen y Andersen, 1995). Algunos trabajos reportan que el mayor consumo de energía aumenta la acumulación de lípidos a nivel corporal, la infiltración de adipocitos en el parénquima mamario y la expresión de ARNm de enzimas lipogénicas (Weller et al., 2016).

Sin embargo, en una revisión reciente (Van Amburgh, 2019), se menciona que los cambios en el desarrollo mamario y en la producción de leche, no se producen debido a la ingesta de energía, sino que debido al inicio más temprano de la pubertad y al acortamiento del periodo de crecimiento alométrico mamario. Las mayores concentraciones de progesterona asociados a la pubertad disminuirían las concentraciones de estrógenos y sus receptores a nivel mamario, siendo los estrógenos uno de los principales factores que estimula el desarrollo del tejido secretor. Por lo tanto, la disminución de la edad pubertad, más que el consumo de

energía, parecerían ser determinante en el desarrollo mamario durante la etapa prepuberal (Van Amburgh, 2019).

En trabajos en los que se ha estudiado el desarrollo mamario en terneras, se han empleado diversas estrategias para el estudio del desarrollo mamario. Las mismas pueden agruparse en análisis histológicos *pos-mortem* (Daniels et al., 2009; Meyer, Capuco, Ross, Lintault y Van Amburgh, 2006a), técnicas moleculares a partir de muestras obtenidas por disección *pos-mortem* o biopsias en animales vivos (Daniels et al., 2009; Meyer, Capuco, Ross, Lintault y Van Amburgh, 2006b; Weller et al., 2016), y más recientemente análisis de imágenes obtenidas por ultrasonografía (Albino et al., 2015; Albino et al., 2017; Esselburn et al., 2015; Nishimura et al., 2011).

La técnica que con mayor frecuencia se emplea en los trabajos publicados se basa en la medición de la masa de tejido y la composición del mismo (Brown et al., 2005b; Daniels et al., 2009; Meyer et al., 2006a). Dichas técnicas permiten la medición precisa de la composición y las características histológicas, pero no permiten realizar simultáneamente otras mediciones tales como la producción de leche futura. Es por ello que en los últimos años se ha desarrollado el análisis del parénquima mamario a partir de imágenes obtenidas por ultrasonografía (US; Albino et al., 2017). Esta técnica no invasiva ha sido validada, comparando la intensidad de píxeles en imágenes obtenidas por US con las observaciones realizadas mediante disecciones de la glándula mamaria (Esselburn et al., 2015; Nishimura et al., 2011). Si bien, la aplicación de estas técnicas de análisis de imágenes es reciente, su aplicación ha permitido detectar diferencias en la composición del parénquima mamario de terneras lecheras generadas a partir de diferentes estrategias de alimentación (Albino et al., 2015). Esta técnica de US además de no ser invasiva es cuantitativa y permite monitorear el crecimiento del parénquima mamario *in vivo* (Esselburn et al., 2015).

En síntesis, si bien hay varios trabajos que evalúan los efectos de la alimentación durante la etapa pre-desleche o pos-desleche sobre el crecimiento corporal, la edad a la pubertad o el desarrollo mamario, la información sobre los efectos combinados del plano de alimentación durante ambos periodos es limitada. Por lo tanto, resulta necesario conocer si a través de diferentes combinaciones de estrategias de alimentación durante la etapa lactante o durante la recría, es posible aumentar las tasas de crecimiento corporal y reducir la edad a la pubertad, sin perjudicar el desarrollo mamario.

5. HIPÓTESIS

La mejora en la alimentación durante la etapa pre-desleche, pos-desleche o durante ambos periodos permitirán incrementar el crecimiento corporal, mejorar el desarrollo mamario y reducir la edad al primer celo de vaquillonas Holando de reemplazo. Además, se pretende probar si aquellas terneras que reciben una menor cantidad de sustituto durante la etapa lactante pueden compensar el menor crecimiento corporal al recibir una mejora en la alimentación durante la etapa pos-desleche.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Analizar el efecto combinado del plano de alimentación pre- y pos-desleche sobre el crecimiento corporal hasta el primer celo, así como el desarrollo mamario y reproductivo de vaquillonas Holando de reemplazo.

6.2. Objetivos específicos

- Analizar el efecto de la alimentación pre y pos-desleche sobre el peso vivo, ganancia de peso, altura de la cadera, aumento de la altura de la cadera, ancho de cadera, ganancia de ancho de cadera, estado corporal y las concentraciones de IGF-1.
- Analizar el efecto de la alimentación pre y pos-desleche sobre la edad y el peso vivo al momento del primer celo.
- Analizar el efecto de la alimentación pre- y pos-desleche sobre el desarrollo de la ubre y el parénquima mamario.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrolló en el Campo Experimental N° 2 de la Facultad de Veterinaria, mientras que los análisis de laboratorio se realizaron en el Instituto de Producción Animal de la Facultad de Veterinaria Universidad de la República. Ambas instalaciones se ubican en el km 42,5 de la ruta N° 1, San José- Uruguay (34° 41' 08.0" S; 56°32' 30.7" W).

Todos los procedimientos experimentales fueron aprobados por la Comisión de Ética en el Uso de Animales (CEUA) en acuerdo con la reglamentación sobre Ética y Bienestar Animal de Facultad de Veterinaria (Protocolo experimental N° 69).

7.1. Diseño experimental

Se utilizaron 48 terneras Holstein bien calostradas nacidas de vacas multíparas. Fueron consideradas como correctamente calostradas aquellas terneras que entre las 24 y 96 horas de vida tuvieron valores $\geq 8,4^\circ$ Brix en suero sanguíneo (Deelen, Ollivett, Haines y Leslie, 2014). Las terneras ingresaron al ensayo a los 7 días de vida, fueron bloqueadas tanto por fecha de nacimiento como por peso vivo (PV), y posteriormente asignadas al azar a cada tratamiento pre- y pos-desleche. Los tratamientos consistieron en un programa nutricional *Alto* (A) o *Bajo* (B) pre-desleche (día 7 a 56 de vida), y un programa nutricional *Alto* (A) o *Bajo* (B) pos-desleche (día 57 a 147 de vida). De esta forma quedaron conformados cuatro combinaciones de tratamientos (AA: *Alto-Alto*; AB: *Alto-Bajo*; BA: *Bajo-Alto*; BB: *Bajo-Bajo*) que se presentan en el cuadro 1.

En el periodo pre-desleche las terneras fueron alojadas individualmente en jaulas de 2,0 x 1,0 m en un galpón semi-cerrado. En este periodo todas las terneras recibieron el mismo sustituto lácteo proporcionado mediante baldes con tetina, dos veces al día, a 37°C en cantidades equivalentes al 20% (A= Alto) o 10% (B = Bajo) del PV inicial de las terneras. El sustituto fue reconstituido con agua potable hasta lograr una concentración de sólidos totales de 125 g MS/litro de sustituto (cuadro 2). Además del sustituto, todas las terneras tuvieron acceso *ad libitum* al concentrado de inicio desde la primera semana de experimento. Durante la semana 8 se realizó el desleche en forma gradual durante 6 días y las terneras tuvieron acceso a 200 g de MS de heno por día (Cuadro 1).

Luego del desleche las terneras fueron alimentadas con el mismo concentrado de inicio y heno que se le ofreció en la etapa pre-desleche (Cuadro 2). Se suministró en cantidades suficientes para lograr, según las predicciones del software del National Research Council (2001), ganancias de peso vivo de 700-800 g/d en los tratamientos AA y BA o 400-500 g/d en los tratamientos AB y BB. Ambos alimentos fueron proporcionados en comederos separados y se proporcionó un frente de acceso de 35 cm/ternera. En todos los tratamientos se mantuvo la misma relación de forraje:concentrado entre tratamientos. De esta forma

quedaron constituidas cuatro combinaciones de tratamientos en el periodo experimental pos-desleche (57-147 días de vida). Posteriormente todos los animales fueron manejados de forma similar en un único grupo y alimentadas a base de un henolaje de pradera y concentrado de recría a razón de 1% del peso vivo (Cuadro 1). Durante este periodo, las terneras fueron mantenidas en pares que fueron considerados como la unidad experimental.

Cuadro 1. Esquema de aplicación de los tratamientos.

| Pre-desleche (día 7-56) | Pos-desleche (día 57-147) | Período residual (día 148-365) |
|---|--------------------------------------|---|
| A Sustituto = 20% PV n = 12 pares | AA (750 g PV/d) n = 6 pares | La misma alimentación para todas las terneras. Formulada para lograr ganancias diarias de 750-800 g PV/d. |
| | AB (450 g PV/d) n = 6 pares | |
| B Sustituto = 10% PV n = 12 pares | BA (750 g PV/d) n = 6 pares | |
| | BB (450 g PV/d) n = 6 pares | |

7.2. Mediciones y determinaciones

El peso vivo, la altura, el ancho de cadera y la condición corporal (escala de 1-5) fueron registrados semanalmente durante el periodo pre desleche (día 7- 56 de vida), cada dos semanas en el periodo pos-desleche de aplicación de los tratamientos (día 57-147 de vida) y cada tres semanas en el periodo restante (147-365 de vida).

A los días 55 y 150 de vida se extrajeron muestras de sangre mediante punción yugular utilizando tubos BD Vacutainer (Franklin Lake, N.J., EE.UU.). Las muestras fueron centrifugadas (1500 x g por 10 minutos) y el suero congelado a -20°C para la posterior determinación de las concentraciones de IGF-1 mediante un ensayo inmuno-radiométrico empleando un kit comercial (IGF1- RIACT Cis Bio International, Gif-sur- Yvette, Francia) de acuerdo a la técnica descrita por Adrien et al. (2012).

A los animales con un PV superior a los 200 kg se les colocó parches de detección de monta y fueron observados diariamente dos veces al día durante una hora en cada momento (8:00-9:00 y 18:00-19:00 hs.) para detectar comportamiento de celo. Se registró la edad y el peso de aquellos animales que se visualizó comportamiento de celo y/o tenían parches marcados por actividad de monta.

Antes y después del primer celo (aproximadamente entre los días 240-260 y 340-360 de vida) se realizaron mediciones morfométricas de la glándula mamaria y ecografías del parénquima en cada una de las cuatro glándulas mamarias de 32 vaquillonas, que fueron elegidas al azar entre las 48 vaquillonas totales. Las mediciones morfométricas de la glándula mamaria consistieron en: largo de la ubre,

ancho de la ubre, largo de pezones y distancia entre los pezones. Las mediciones se realizaron en forma similar a la descrita por Lammers et al. (1999) y De Trinidad (2014).

Las ecografías se realizaron con un equipo de ultrasonido en modo-B (Esaote MyLab One, Génova, Italia) equipado con un transductor de matriz convexa de 8 MHz (SC3123 VET Matriz microconvexo, Esaote, Génova, Italia). La sonda se colocó en un ángulo de 45° con relación a la base del pezón en dirección caudo-craneal ascendente (Nishimura et al., 2011; Albino et al., 2017). Se obtuvieron imágenes en formato JPEG para el posterior análisis empleando el software ImageJ (NIH, Bethesda MD, USA). En cada imagen se marcaron cuatro áreas de 16 mm² en torno a las estructuras ductales y se calculó la intensidad de píxeles promedio en una escala numérica de 256 tonos de gris (0 = negro, 256 = blanco; Ungerfeld y Fila, 2011).

7.3. Composición química de los alimentos

Las muestras de alimentos fueron analizadas para determinar MS, cenizas, proteína bruta (N × 6,25) y extracto etéreo (métodos 934.01, 942.05, 955.04, y 920.39, respectivamente; Association of Analytical Communities, 2000). La FND se realizó empleando α-amilasa termoestable y sulfito de sodio. La FAD se realizó en forma no secuencial (Van Soest et al, 1991) y tanto para FND cómo para FAD se descontó el contenido de cenizas residuales (Licitra, Hernandez y Van Soest, 1996; Robertson y Lewis, 1996). El contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) y energía metabolizable (EM) fueron estimados según el National Research Council (2001).

Cuadro 2. Composición química de los alimentos utilizados.

| Ítem | Sustituto ¹ | Concentrado cría ² | Concentrado recria ³ | Heno ⁴ | Henolaje ⁵ |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------|
| MS, % | 91,9 | 92,0 | 92,0 | 90,8 | 50,6 |
| PC, % MS | 24,9 | 21,0 | 16,0 | 14,8 | 16,8 |
| EE, % MS | 20,1 | 2,2 | 2,2 | 1,4 | 1,1 |
| FND, % MS | - | 15,1 | 15,1 | 56,9 | 56,9 |
| FAD, % MS | - | 5,0 | 5,0 | 38,4 | 38,4 |
| Cenizas, % DM | 7,9 | 6,0 | 6,0 | 10,1 | 11,1 |
| CNF, ⁶ % MS | 47,1 | 55,7 | 55,7 | 10,7 | 16,7 |
| EM, ^{7,8} Mcal/kg MS | 4,58 | 3,00 | 3,00 | 2,10 | 1,97 |

¹ Sustituto lácteo empleado en ambos tratamientos durante el periodo pre-desleche.

² Concentrado cría: corresponde al concentrado utilizado durante la etapa pre-desleche.

³ Concentrado recria: corresponde al concentrado utilizado durante la etapa pos-desleche.

⁴ Heno: mezcla de gramíneas y leguminosas. Empleado en la etapa pre- y pos-desleche.

⁵ Henolaje: mezcla de gramíneas y leguminosas. Empleado en el periodo residual.

⁶ Carbohidratos no fibrosos (CNF como % MS) = 100 - (FND % + PB % + EE % + cenizas %).

⁷ EM del sustituto (Mcal/kg MS) = [(9,21 × EE %) + (5,86 × PB %) + (3,95 × Lactosa %)] × 0,93/100, calculada según Drackley (2008).

⁸ EM del concentrado (Mcal/kg MS) = (1,01 × ED - 0,45) + [0,0046 × (EE% - 3)]. La energía digestible (ED), expresada como Mcal/kg MS, se calculó en base a las ecuaciones propuestas por el National Research Council (2001), considerando el contenido de energía y la digestibilidad (*dig*) de las diferentes fracciones del alimento = (*dig*. CNF × 4,2) + (*dig*. FND × 4,2) + (*dig*. PB × 5,6) + (*dig*. EE × 9,4).

7.4. Análisis estadístico

Todos los datos se analizaron utilizando el software SAS (University Edition, SAS Inst., Inc., Cary NC, EEUU). Primero, los datos se analizaron mediante el PROC UNIVARIATE para detectar valores atípicos y verificar la normalidad de las variables. El crecimiento corporal de las terneras fue analizado por separado en los periodos pre-desleche, pos-desleche y periodo residual. Salvo que se especifique algo diferente, en todos los periodos se consideró el par de terneras (corral) como la unidad experimental y se reportaron los valores de las medias de los mínimos cuadrados \pm el error estándar de la media (EEM). En todos los casos las medias fueron comparadas con el test de Tukey y se aceptaron como diferencias significativas valores de $P \leq 0,05$ y como tendencia valores de $0,05 < P \leq 0,10$.

En el periodo pre-desleche, el peso vivo, las ganancias diarias de peso, la altura a la cadera, la ganancia de altura, el ancho de la cadera, las ganancias diarias de ancho de cadera y la condición corporal fueron analizadas como medidas repetidas en el tiempo mediante el PROC GLIMMIX de SAS según el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{Pre}_i + E_j + (\text{Pre} \times E)_{ij} + T_k + e_{ijkl},$$

Dónde:

Y_{ijk} es la variable en estudio,

μ es la media general,

Pre_i es el efecto fijo del tratamiento pre-desleche ($i = \text{Alto o Bajo}$),

E_j es el efecto fijo de la edad a la que se realizó la medición ($j = 7- 56$),

T_k es el efecto aleatorio de la ternera ($k = 1- 48$) y

e_{ijkl} es la sumatoria de errores.

En el periodo pos-desleche y en el periodo residual las variables de crecimiento corporal, la intensidad de pixeles del parénquima mamario y las mediciones morfométricas de la ubre fueron analizadas como medidas repetidas en el tiempo mediante el PROC GLIMMIX de SAS según el siguiente modelo:

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{Pre}_i + \text{Pos}_j + E_k + (\text{Pre} \times \text{Pos})_{ij} + (\text{Pre} \times \text{Pos} \times E)_{ijk} + T_l + e_{ijklm},$$

Dónde:

Y_{ijkl} es la variable en estudio,

μ es la media general,

Pre_i es el efecto fijo del tratamiento pre-desleche ($i = \text{Alto o Bajo}$),

Pos_j es el efecto fijo del tratamiento pos-desleche ($j = \text{Alto o Bajo}$),

E_k es el efecto fijo de la edad a la que se realizó la medición ($k = 57- 360$),

$(\text{Pre} \times \text{Pos})_{ij}$ es la interacción del tratamiento pre- y pos-desleche ($ij = \text{AA, AB, BA o BB}$),

$(\text{Pre} \times \text{Pos} \times E)_{ijk}$ es la interacción entre el tratamiento pre-desleche, pos-desleche y la edad a la que se realizó la medición,

T_l es el efecto aleatorio de la ternera ($k = 1 - 48$), y

e_{ijklm} es la sumatoria de errores.

Las concentraciones de IGF-1 fueron analizadas con los mismos modelos que se emplearon para analizar las variables de crecimiento corporal en los periodos pre- y pos-desleche, pero no fueron analizadas como medidas repetidas en el tiempo. En el análisis de la intensidad de pixeles del parénquima mamario, se consideró el valor promedio de cada ternera, promediando primero la intensidad de pixeles en cada glándula y luego el promedio de las cuatro glándulas mamarias en cada periodo de medición (pre- y pos-puberal).

La edad, el peso, la altura a la cadera, el ancho de la cadera y la condición corporal al momento que se produjo el primer celo fueron analizadas mediante el PROC GLIMMIX de SAS. Para el análisis de las variables mencionadas anteriormente se consideró a la ternera como unidad experimental. El modelo empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Pre}_i + \text{Pos}_j + (\text{Pre} \times \text{Pos})_{ij} + T_k + e_{ijk},$$

Donde:

Y_{ijk} es la variable en estudio,

μ es la media general,

Pre_i es el efecto fijo del tratamiento pre-desleche ($i = \text{Alto o Bajo}$),

Pos_j es el efecto fijo del tratamiento pos-desleche ($j = \text{Alto o Bajo}$),

$\text{Pre}_i \times \text{Pos}_j$ es la interacción entre el tratamiento pre- y pos-desleche ($ij = \text{AA, AB, BA o BB}$),

T_k es el efecto aleatorio de la ternera,

e_{ijk} es la sumatoria de errores.

8. RESULTADOS

8.1. Crecimiento corporal

Durante el periodo pre-desleche, todas las variables de crecimiento corporal analizadas fueron afectadas por la edad ($P < 0,01$). Además, las terneras del tratamiento *Alto* lograron 228 g más de ganancias diarias de PV y fueron 6 kg más pesadas que las terneras del tratamiento *Bajo* en dicho periodo ($P < 0,05$), pero no se detectaron efectos del tratamiento en otras variables (Cuadro 3).

Por otra parte, se detectó interacción tratamiento por edad y las terneras del tratamiento *Alto* fueron más pesadas a partir del día 21 ($P < 0,01$), tuvieron mayor ganancia de altura durante todo el periodo pre-desleche ($P = 0,017$) y tendieron a ser más altas a partir del día 42 ($P = 0,050$), con respecto a las terneras del tratamiento *Bajo* (Cuadro 3; Figura 1a). No fueron detectadas diferencias significativas entre tratamientos en las concentraciones de IGF-1 durante la semana que se realizó el desleche (Cuadro 3).

Cuadro 3. Crecimiento corporal de terneras lecheras durante el periodo pre-desleche (7 -56 días de vida).

| Ítem (media \pm EEM) | Pre-desleche ¹ | | P- valor ² | | |
|-------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------|--------|------------|
| | Alto | Bajo | Pre | Edad | Pre x Edad |
| Peso vivo, kg | 62 \pm 0,85 | 56 \pm 0,85 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 |
| Ganancia de peso, kg/d | 827 \pm 28,3 | 599 \pm 28,3 | < 0,01 | < 0,01 | 0,960 |
| Altura a la cadera, cm | 85 \pm 0,90 | 84 \pm 0,90 | 0,200 | < 0,01 | 0,050 |
| Aumento de altura, cm/d | 0,25 \pm 0,027 | 0,25 \pm 0,027 | 0,140 | < 0,01 | 0,017 |
| Ancho de cadera, cm | 18,7 \pm 0,41 | 18,4 \pm 0,41 | 0,490 | < 0,01 | 0,998 |
| Ancho de cadera, cm/d | 0,09 \pm 0,011 | 0,07 \pm 0,011 | 0,356 | < 0,01 | 0,955 |
| Estado corporal, 1-5 | 2,8 \pm 0,072 | 2,7 \pm 0,072 | 0,172 | < 0,01 | 0,100 |
| IGF-1, ng/ml | 163 \pm 20,5 | 155 \pm 20,5 | 0,752 | – | – |

¹Alto = acceso a sustituto lácteo a razón del 20% del peso vivo inicial; Bajo = acceso a sustituto lácteo a razón del 10% del peso vivo inicial.

²PRE = efecto del tratamiento pre-desleche (Alto o Bajo); EDAD = efecto de la semana de medición (semana 2-8 de vida); PRExEDAD = interacción entre el tratamiento pre-desleche y la semana de medición.

En el periodo pos-desleche, el PV fue la única variable en la que se detectó interacción entre el tratamiento pre-desleche x pos-desleche x edad ($P < 0,01$; Cuadro 4). A partir del día 119 y hasta el día 147, las terneras de los tratamientos AA y BA fueron más pesadas que las terneras de los tratamientos AB y BB (Figura 1b). No se detectó interacción entre los tratamientos pre-desleche y pos-desleche en ninguna de las variables de crecimiento corporal ni en las concentraciones de IGF-1 durante el periodo pos-desleche (Cuadro 4).

Las terneras que recibieron un tratamiento *Alto* en el periodo pre-desleche, fueron 8 kg más pesadas durante el periodo pos-desleche ($P < 0,01$) y 2 cm más altas ($P = 0,03$) que las terneras que recibieron un tratamiento *Bajo* durante el pre desleche

(Cuadro 4). Aquellas que recibieron un tratamiento *Alto* luego de ser deslechadas fueron 11 kg más pesadas ($P < 0,01$), lograron 246 g más de ganancia diaria de peso ($P < 0,01$), tuvieron mayores concentraciones de IGF-1 ($P = 0,040$), tendieron a una mayor condición corporal ($P = 0,099$) y un mayor ancho de cadera que las terneras que recibieron un tratamiento *Bajo* pos desleche ($P = 0,065$; Cuadro 4).

En el periodo residual, no fueron detectadas interacciones Pre x Pos x Edad, interacciones Pre x Pos, ni efecto del tratamiento pre-desleche, sobre ninguna de las variables de crecimiento corporal evaluadas (Cuadro 4). Sin embargo, las terneras del tratamiento pos-desleche *Alto* fueron 20 kg más pesadas ($P = 0,01$), 3 cm más altas ($P = 0,01$), tuvieron 1 cm más de ancho de cadera ($P = 0,035$) y tendieron a tener una mayor condición corporal ($P = 0,053$) que las terneras del tratamiento pos-desleche *Bajo* (Cuadro 4). Durante este periodo las terneras lograron ganancias de peso promedio de $745 \pm 53,8$ g/día y las mismas fueron similares en todas las combinaciones de tratamientos (Cuadro 4).

8.2. Edad y desarrollo corporal al primer estro

La edad promedio de las terneras al primer celo fue de $308 \pm 11,0$ días y no se detectó efecto del tratamiento pre-desleche, pos-desleche ni interacciones entre ambos tratamientos sobre esta variable (Cuadro 5). Cuando las terneras recibieron el tratamiento *Alto* pre-desleche tendieron a lograr el primer celo con mayor peso que las terneras del tratamiento *Bajo* ($P = 0,076$).

Las terneras de la combinación de tratamientos AA tendieron a ser 42 kg más pesadas que las terneras de la combinación BA al primer celo ($P = 0,075$). Sin embargo, no se detectó efecto del tratamiento pre-desleche ni pos-desleche sobre la altura a la cadera, el ancho de la cadera ni el estado corporal al momento que se produjo el primer celo (Cuadro 5).

8.3. Desarrollo de la ubre y el parénquima mamario

No se detectó efecto del tratamiento pre-desleche, pos-desleche ni interacción entre ambos, sobre el ancho y el largo de la ubre de las terneras (Cuadro 5). Sin embargo, las terneras que recibieron el tratamiento *Alto* pos-desleche tendieron a tener mayor largo de ubre ($P = 0,076$). En ambas variables se detectó efecto del momento de medición, siendo mayores luego del primer celo en comparación con las realizadas previamente (Cuadro 5).

La ecogenicidad del parénquima mamario no fue afectada por el tratamiento pre-desleche, ni se detectó interacción entre los tratamientos pre- y pos-desleche, ni interacción pre-desleche x pos-desleche x edad (Cuadro 5). Sin embargo, esta variable tendió a ser mayor en las terneras que recibieron un tratamiento pos-desleche *Alto* ($P = 0,062$), independientemente del tratamiento pre-desleche recibido (Cuadro 5).

Cuadro 4. Efecto del tratamiento pre-desleche y pos-desleche sobre el crecimiento corporal de las terneras durante el periodo que se aplicaron los tratamientos pos-desleche (57 a 147 días de vida) y durante el periodo residual (147 a 365 días de vida).

| Ítem | Tratamientos | | | | | | | | P- valor ¹ | | | | |
|--|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------|--------|-----------|------------------|
| | Pre-desleche (Pre) | | Pos-desleche (Pos) | | Pre x Pos-desleche (Pre x Pos) | | | | Pre | Pos | Edad | Pre x Pos | Pre x Pos x Edad |
| | Alto (A) | Bajo (B) | Alto (A) | Bajo (B) | AA | AB | BA | BB | | | | | |
| Unidades experimentales | 12 | 12 | 12 | 12 | 6 | 6 | 6 | 6 | - | - | - | - | - |
| Crecimiento corporal desde los 57 a los 147 días de vida (media ± EEM) | | | | | | | | | | | | | |
| Peso vivo, kg | 109 ± 1,5 | 101 ± 1,5 | 110 ± 1,5 | 99 ± 1,5 | 113 ± 2,2 | 104 ± 2,2 | 107 ± 2,2 | 94 ± 2,2 | <0,01 | < 0,01 | < 0,01 | 0,593 | <0,01 |
| Ganancia de peso, g/d | 560 ± 31,8 | 637 ± 31,8 | 722 ± 31,8 | 476 ± 31,8 | 671 ± 45,0 | 449 ± 45,0 | 639 ± 45,0 | 503 ± 45,0 | 0,102 | < 0,01 | 0,111 | 0,611 | 0,635 |
| Altura a la cadera, cm | 99 ± 0,8 | 97 ± 0,8 | 99 ± 0,8 | 97 ± 0,8 | 99 ± 1,2 | 100±1,2 | 98 ± 1,2 | 95 ± 1,2 | 0,033 | 0,276 | < 0,01 | 0,153 | 0,879 |
| Aumento de altura, cm/d | 0,15± 0,02 | 0,18± 0,02 | 0,17± 0,02 | 0,15± 0,02 | 0,17± 0,02 | 0,13± 0,02 | 0,17± 0,02 | 0,18± 0,02 | 0,289 | 0,397 | < 0,01 | 0,351 | 0,665 |
| Ancho de cadera, cm | 24 ± 0,30 | 23 ± 0,30 | 24 ± 0,30 | 23 ± 0,30 | 24 ± 0,42 | 24±0,42 | 24 ± 0,42 | 23 ± 0,42 | 0,251 | 0,065 | < 0,01 | 0,778 | 0,826 |
| Ancho de cadera, cm/d | 0,06 ± 0,01 | 0,07± 0,01 | 0,07± 0,01 | 0,6± 0,01 | 0,07± 0,08 ^x | 0,05± 0,08 ^x | 0,06± 0,08 ^x | 0,07± 0,08 ^y | 0,490 | 0,547 | < 0,01 | 0,100 | 0,596 |
| Estado corporal, 1–5 | 2,8 ± 0,08 | 2,8 ± 0,08 | 2,9 ± 0,08 | 2,7 ± 0,08 | 2,7 ± 0,07 | 2,8±0,07 | 2,8 ± 0,07 | 2,9 ± 0,07 | 0,687 | 0,099 | 0,174 | 0,373 | 0,105 |
| IGF-1, ng/ml | 112 ± 11,5 | 102 ± 10,5 | 125 ± 11,0 | 90 ± 11,0 | 136 ± 16,3 | 88±16,3 | 113 ± 15,0 | 92 ± 4,9 | 0,520 | 0,040 | - | 0,386 | - |
| Crecimiento corporal desde los 147 a los 360 días de vida (media ± EEM) | | | | | | | | | | | | | |
| Peso vivo, kg | 221 ± 4,9 | 213 ± 4,9 | 227 ± 4,9 | 207±4,9 | 231 ± 6,9 | 210 ± 6,9 | 222 ± 7,0 | 204 ± 6,9 | 0,297 | 0,010 | < 0,01 | 0,839 | 0,995 |
| Ganancia de peso, g/d | 756 ± 37,6 | 737 ± 38,2 | 744 ± 38,5 | 750±37,3 | 754 ± 54,1 | 757 ± 52,8 | 726 ± 55,4 | 744 ± 53,1 | 0,707 | 0,852 | < 0,01 | 0,894 | 0,123 |
| Altura a la cadera, cm | 118 ± 0,8 | 117 ± 0,8 | 119 ± 0,8 | 116±0,8 | 119 ± 1,1 | 117 ± 1,1 | 119 ± 1,1 | 115 ± 1,1 | 0,296 | 0,011 | < 0,01 | 0,339 | 0,982 |
| Aumento de altura, cm/d | 0,12± 0,01 | 0,13± 0,01 | 0,13± 0,01 | 0,12± 0,01 | 0,11± 0,01 | 0,12± 0,01 | 0,14± 0,01 | 0,12± 0,01 | 0,216 | 0,478 | 0,162 | 0,118 | 0,449 |
| Ancho de cadera, cm | 31 ± 0,3 | 32 ± 0,3 | 32 ± 0,3 | 31 ± 0,3 | 32 ± 0,5 | 31 ± 0,5 | 33 ± 0,5 | 31 ± 0,5 | 0,525 | 0,035 | < 0,01 | 0,152 | 0,557 |
| Ancho de cadera, cm/d | 0,05± 0,01 | 0,06± 0,01 | 0,06± 0,01 | 0,05± 0,01 | 0, 5± 0,01 | 0,05± 0,01 | 0,07± 0,01 | 0,05± 0,01 | 0,200 | 0,474 | 0,013 | 0,182 | 0,515 |
| Estado corporal, 1–5 | 3,2 ± 0,05 | 3,2 ± 0,06 | 3,3 ± 0,05 | 3,2 ± 0,05 | 3,3 ± 0,08 | 3,1 ± 0,08 | 3,3 ± 0,08 | 3,2 ± 0,08 | 0,900 | 0,053 | < 0,01 | 0,797 | 0,158 |

¹ PRE= efecto del tratamiento pre-desleche (Alto o Bajo); POS= efecto del tratamiento pos-desleche (Alto o Bajo); Edad = edad a la que se realizó la medición (semanalmente en la etapa pre-desleche, cada dos semanas en la etapa pos-desleche y cada mes en el periodo residual); Pre x Pos= interacción entre el tratamiento pre-desleche y pos-desleche; Pre x Pos X Tiempo= interacción entre el tratamiento pre-desleche, pos-desleche y mes de vida,

Cuadro 5. Efecto del tratamiento pre-desleche y pos-desleche sobre la edad al primer celo, la ecogenicidad del parénquima mamario y la morfometría de la ubre.

| Ítem | Tratamientos | | | | | | | | P- valor ¹ | | | | |
|---|--------------------|------------|--------------------|------------|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|-------|-------|-----------|------------------|
| | Pre-desleche (Pre) | | Pos-desleche (Pos) | | Combinaciones Pre- y Pos-desleche (PrexPos) | | | | Pre | Pos | Edad | Pre x Pos | Pre x Pos x Edad |
| | Alto (A) | Bajo (B) | Alto (A) | Bajo (B) | AA | AB | BA | BB | | | | | |
| Edad y crecimiento corporal al primer celo (media ± EEM) | | | | | | | | | | | | | |
| Unidades experimentales | 24 | 24 | 24 | 24 | 12 | 12 | 12 | 12 | - | - | - | - | - |
| Edad 1 ^{er} celo, d | 312 ± 6,9 | 305 ± 7,6 | 305 ± 7,2 | 312 ± 7,3 | 307 ± 10,2 | 316 ± 9,5 | 302 ± 10,2 | 308 ± 11,2 | 0,534 | 0,462 | - | 0,865 | - |
| Peso vivo, kg | 269 ± 7,4 | 248 ± 7,8 | 265 ± 7,9 | 252 ± 7,3 | 286 ± 11,3 ^x | 251 ± 9,9 ^{xy} | 244 ± 11,5 ^y | 253 ± 11,3 ^{xy} | 0,076 | 0,229 | - | 0,075 | - |
| Altura cadera, cm | 122 ± 1,3 | 120 ± 1,4 | 122 ± 1,4 | 122 ± 1,8 | 123 ± 2,0 | 122 ± 1,8 | 120 ± 2,0 | 120 ± 2,2 | 0,219 | 0,664 | - | 0,815 | - |
| Ancho de cadera, cm | 33 ± 0,86 | 32 ± 0,95 | 33 ± 0,90 | 33 ± 0,93 | 34 ± 1,3 | 33 ± 1,12 | 32 ± 1,21 | 33 ± 1,50 | 0,433 | 0,699 | - | 0,494 | - |
| Estado corporal, 1-5 | 3,4 ± 0,08 | 3,3 ± 0,08 | 3,4 ± 0,08 | 3,3 ± 0,08 | 3,4 ± 0,11 | 3,4 ± 0,10 | 3,3 ± 0,11 | 3,4 ± 0,12 | 0,444 | 0,728 | - | 0,609 | - |
| Parénquima mamario (media ± EEM) | | | | | | | | | | | | | |
| Unidades experimentales | 8 | 8 | 8 | 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | - | - | - | - | - |
| Ecogenicidad ¹ | 97 ± 1,3 | 98 ± 1,3 | 99 ± 1,3 | 95 ± 1,1 | 98 ± 1,8 | 95 ± 1,9 | 100 ± 1,9 | 95 ± 1,9 | 0,577 | 0,062 | 0,674 | 0,502 | 0,384 |
| Morfometría de la ubre (media ± EEM) | | | | | | | | | | | | | |
| Unidades experimentales | 8 | 8 | 8 | 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | - | - | - | - | - |
| Largo de la ubre, cm | 32 ± 0,96 | 33 ± 0,96 | 32 ± 0,96 | 34 ± 0,96 | 31 ± 1,37 | 33 ± 1,36 | 32 ± 1,35 | 34 ± 1,35 | 0,352 | 0,076 | <0,01 | 0,448 | 0,417 |
| Ancho de la ubre, cm | 17 ± 0,44 | 18 ± 0,45 | 18 ± 0,45 | 17 ± 0,44 | 18 ± 0,61 | 16 ± 0,64 | 18 ± 0,65 | 19 ± 0,61 | 0,106 | 0,918 | 0,043 | 0,130 | 0,909 |

¹Pre= efecto del tratamiento pre-desleche (Alto o Bajo); Pos= efecto del tratamiento pos-desleche (Alto o Bajo); MOM = momento en que se realizó la medición (antes o después del primer celo); Pre x Pos = interacción entre el tratamiento pre-desleche y pos-desleche; Pre x Pos X MOM= interacción entre el tratamiento pre-desleche, pos-desleche y el momento de medición,

²Ecogenicidad del parénquima mamario determinada por ultrasonografía y análisis de la intensidad de píxeles (expresada en n° píxeles x 10³ / cm²),

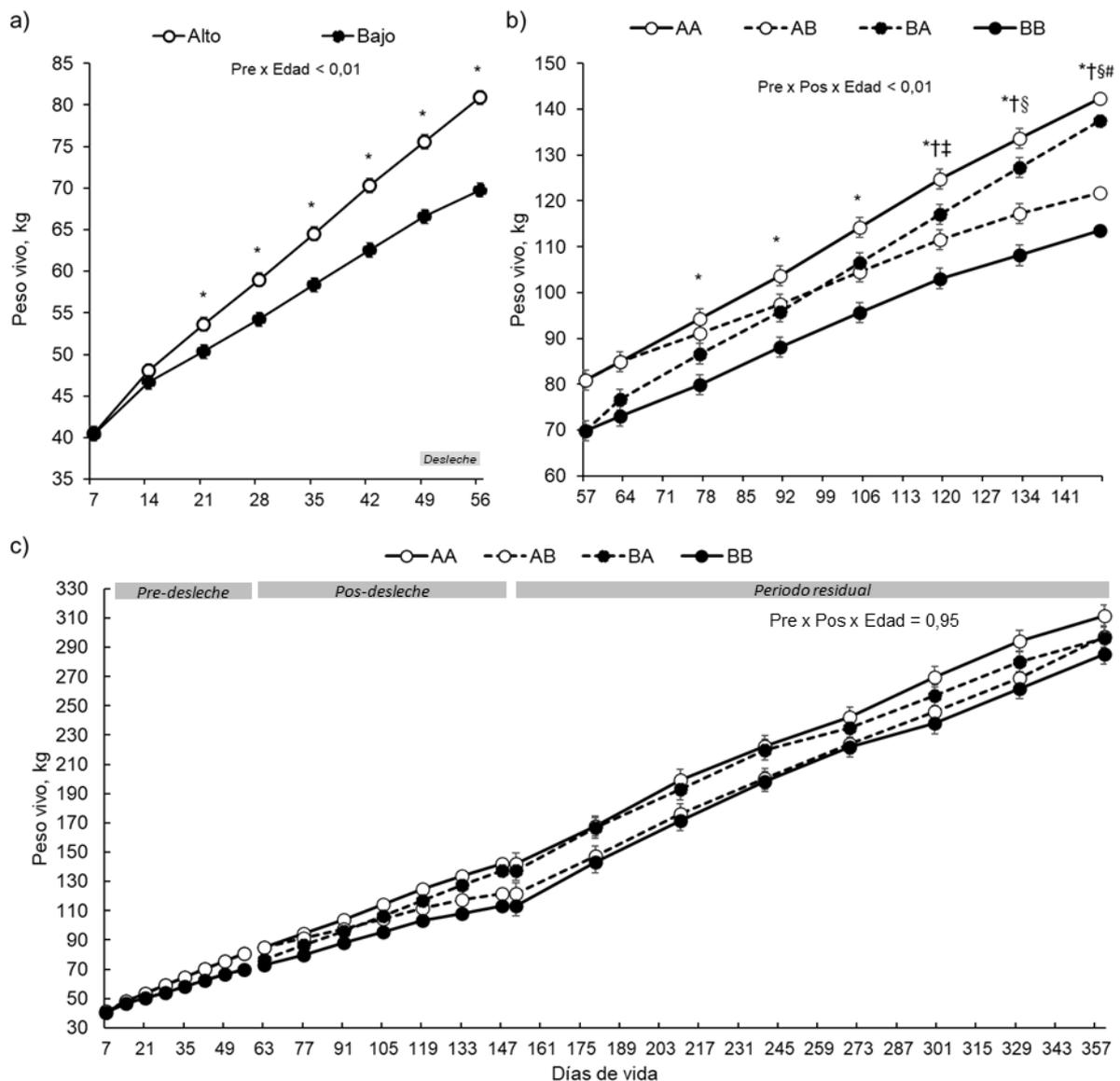


Figura 1. Peso vivo de las terneras durante la etapa pre-desleche (a), pos-desleche (b) y durante el primer año de vida (c). En la figura 2a: * en cada punto indica diferencias significativas entre los tratamientos pre-desleche ($P < 0,05$). En la figura 2b: * indica diferencias significativas entre AA y BB ($P < 0,05$); † indica diferencias significativas entre AA y AB ($P < 0,05$); ‡ indica tendencias entre BA y BB ($0,05 < P \leq 0,10$); § indica diferencias significativas entre BA y BB ($P < 0,05$); # indica diferencias significativas entre AB y BA ($P < 0,05$). Las barras de error indican el EEM para cada punto de medición.

9. DISCUSIÓN

Al igual que en trabajos previos, las terneras que accedieron a una mayor cantidad de sustituto fueron más pesadas y tuvieron mayores ganancias de altura durante la etapa lactante (Brown et al., 2005a; De Trinidad, 2014; Terré et al., 2006). Esto era esperable dado que, al suministrar mayores volúmenes de lácteos aumenta el consumo total de nutrientes (De Trinidad, 2014; Silva et al., 2015). Los lácteos aportan 70-72% de la energía y 67-72% de la proteína bruta consumida por terneras alimentadas con 4 L de leche o sustituto (De Trinidad, 2014; Silva et al., 2015), siendo estos porcentajes aún mayores cuando las terneras acceden a 8 L (De Trinidad, 2014).

Varios trabajos en los que se suministraron cantidades de leche o sustituto mayores a 10% del PV al nacimiento, reportan menores tasas de crecimiento pos-desleche (Chelikani, Ambrose, Keisler y Kennelly, 2009; Daccarett, Bortone, Isbell y Morrillet, 1993; Davis Rincker et al., 2011; Petitclerc, Chapin, Emery y Tucker, 1983). Las mismas han sido atribuidas al menor consumo de concentrado y al menor desarrollo digestivo (Hu et al., 2020; Hill, Bateman, Aldrich y Schlotterbeck, 2010), lo cual concuerda con un trabajo reciente en el que se estableció que el principal factor que determina la capacidad de los terneros para digerir los alimentos sólidos al momento del desleche, es el consumo acumulado de concentrado durante la etapa lactante (Quigley, 2019). En función de esto, una de las hipótesis planteadas era que las terneras que recibieron una menor cantidad de sustituto podrían compensar su menor crecimiento corporal logrado en la etapa lactante al recibir una mejora en la alimentación durante la etapa pos-desleche, cosa que efectivamente ocurrió en este trabajo.

En nuestro trabajo las terneras que recibieron un tratamiento pre-desleche *Bajo* pudieron igualar el peso de las terneras que recibieron un tratamiento *Alto* en la etapa pre- y pos-desleche, cuando se mejoró el plano de alimentación en el pos-desleche (*Alto* pos-desleche). Dicho efecto podría ser explicado por una mayor capacidad de digestión de las terneras luego del desleche, pero también por la posible expresión de crecimiento compensatorio. En animales jóvenes se suele producir crecimiento compensatorio cuando se mejora el plano de alimentación luego de una restricción de nutrientes moderada, durante un corto periodo de tiempo (Choi et al., 1997; Di Marco, 1994; Ford y Park, 2001; Park, Erickson, Choi y Marx, 1987).

Además de los cambios detectables sobre el crecimiento corporal, las mejoras en el plano nutricional en las vaquillonas generan señales a nivel endócrino-metabólico que incrementan las concentraciones de hormonas anabólicas tales como IGF-1 y GH (Murdoch et al., 2005). Varios estudios muestran que las terneras que recibieron una mejor alimentación que permite mayores tasas de crecimiento, tienen mayores concentraciones de IGF-1 tanto en el periodo pre-desleche (Daccarett, Bortone, Isbell, y Morrill, 1993; De Trinidad, 2014; Rosadiuk

et al., 2021), como pos-desleche (Chelikani et al., 2009; De Trinidad, 2014; Lammers et al., 1999; Rosadiuk et al., 2021; Yelich, Wettemann, Marston y Spicer, 1996). Sin embargo, en nuestro estudio, así como en el trabajo realizado por De la Quintana (2017) no fueron detectadas diferencias en las concentraciones de IGF-1 entre tratamientos. Esto pudo deberse a que tanto en nuestro experimento como en el realizado por De la Quintana (2017), las ganancias diarias de peso entre tratamientos no fueron muy contrastantes. Además, en nuestro trabajo las concentraciones de IGF-1 se determinaron una sola vez en cada periodo de aplicación de los tratamientos (pre- y pos-desleche), lo que pudo contribuir a que no fuera posible detectar diferencias significativas.

Se ha sugerido que las vaquillonas alcanzan la pubertad cuando logran un peso vivo equivalente a 40-58% del PV adulto (Le Cozler et al., 2008; Freetly, Kuehn y Cundiff, 2011). En este sentido, era esperable que terneras que crecieran a mayor ritmo alcancen la pubertad a menor edad. En este sentido, en trabajos realizados en Uruguay se observó que terneras lecheras que tuvieron mayores tasas de crecimiento, generadas con diferentes estrategias de manejo durante la etapa pre-desleche (De Trinidad, 2014) o pos-desleche (De la Quintana, 2017; Fiol et al., 2017; Moratorio et al., 2021), comenzaron a ciclar a menor edad.

En un estudio realizado en Uruguay, reportan que terneras Holando alimentadas con 8 litros de leche durante la etapa lactante, no solo alcanzaron la pubertad a menor edad, sino que lo hicieron con menor peso vivo que las terneras alimentadas con 4 litros (Mendoza et al., 2016). Según dicho estudio, la pubertad sería afectada por efectos residuales que producirían cambios sobre el crecimiento corporal y el metabolismo. A pesar de ello, en nuestro trabajo no detectamos efecto de la alimentación durante la etapa pre-desleche ni pos-desleche sobre la edad al primer celo, aunque las terneras que recibieron mayor cantidad de sustituto durante la etapa lactante tendieron a ser más pesadas al momento del primer celo. Serían necesario más estudios para establecer las posibles causas de las diferencias entre ambos experimentos.

A nivel endócrino, se ha reportado que manejos que generan tasas de crecimiento diferenciales entre vaquillonas, durante la etapa pre-puberal, generan cambios en los niveles de hormonas y metabolitos mediadores del crecimiento folicular (Fiol et al., 2017). En este sentido, se conoce que la IGF-1 aumenta la sensibilidad de las células de la granulosa a la acción de la FSH (Houseknecht et al., 1988; Yelich et al., 1996), por lo tanto, aquellos factores asociados con mayores concentraciones de IGF-1, tales como la ingesta de nutrientes y la CC, podrían reducir la edad a la pubertad, mientras que un bajo consumo generaría un retraso de esta (Murphy et al., 1991). A pesar de que en este experimento se detectaron mayores concentraciones de IGF-1 y mayor CC en las terneras que tuvieron tratamientos pos-desleche *Alto*, no se detectaron diferencias en la edad al primer celo.

El desarrollo mamario de las terneras se produce en fases alternadas de crecimiento alométrico e isométrico (Tucker, 1987), tal como fue revisado previamente. Según dicha descripción, la etapa pre-desleche de nuestro experimento coincidió con la fase de crecimiento isométrico, mientras que los tratamientos aplicados durante la etapa pos-desleche (57-147 días de vida) coincidieron con la fase de crecimiento alométrico de la glándula mamaria. Tal como esperábamos, el plano de alimentación pos-desleche afectó el desarrollo mamario de las terneras y coincide con trabajos previos que sugieren a esta etapa como la más sensible a cambios en alimentación y el manejo de las terneras (Tucker, 1987; Johnsson y Hart, 1985; Brown et al., 2005b).

Algunos trabajos previos, en los que se evaluó el efecto de altas o bajas ganancias de peso durante la etapa pre-desleche, no reportan diferencias significativas en el desarrollo de la glándula mamaria (Albino et al., 2017; Brown et al., 2005b; Esselburn et al., 2015). La ausencia de efectos del tratamiento pre-desleche sobre la intensidad de pixeles del parénquima mamario es consistente con la fase de crecimiento isométrico de la glándula mamaria en dicha etapa, durante la cual sería menos sensible a cambios en la alimentación. A pesar de ello, en un trabajo reciente se sugiere que la fase de crecimiento alométrico de la glándula mamaria podría comenzar al nacimiento, cuando las terneras reciben más cantidad de leche (Soberon y Van Amburgh, 2017). No obstante, dicho trabajo es el único que hasta la fecha ha reportado este tipo de efectos en la etapa lactante, por lo que es necesario más evidencia al respecto.

Al igual que en un estudio previo (Albino et al., 2015), encontramos que las terneras que recibieron un mayor plano de alimentación durante la etapa pos-desleche tuvieron una mayor intensidad de pixeles en el parénquima mamario. Esto sugiere que las terneras que tuvieron un mayor consumo de energía depositaron una mayor proporción de tejido adiposo en el parénquima mamario. Además, dichas terneras tuvieron mayores ganancias diarias de peso y tendieron a un mayor score de estado corporal, lo cual concuerda y refuerza los hallazgos a nivel mamario. Nuestros resultados corroboran que el manejo de la alimentación durante la etapa pos-desleche parecería ser más importante para el desarrollo mamario, que el aplicado durante la etapa pre-desleche. A pesar de estos hallazgos, no podemos afirmar que esto se traduzca en una mayor o menor producción futura de leche. Por otra parte, es necesario precisar que el análisis ecográfico del parénquima mamario es una técnica que ha sido desarrollada y validada recientemente (Albino et al., 2017; Nishimura et al., 2011), por lo tanto, la información generada a través de ella es aún escasa.

10. CONCLUSIÓN

Se concluye que las interacciones entre los tratamientos aplicados en las etapas pre- y pos-desleche se limitan al peso vivo, pero no se observan sobre el desarrollo reproductivo ni mamario. La mejora en la alimentación pos-desleche permite que las terneras alimentadas con menos sustituto lácteo recuperen antes de los 5 meses de vida, el crecimiento corporal no logrado durante la etapa lactante, sin modificar la oferta alimenticia indicada para esta categoría. Además, una mayor oferta de sustituto lácteo tiende a aumentar el peso con que se produce el primer celo, mientras que un alto plano de alimentación pos-desleche tiende a incrementar la ecogenicidad del parénquima mamario e incrementando las concentraciones de IGF-1 independientemente del tratamiento pre-desleche recibido.

11. REFERENCIAS

- Abeni, F., Calamari, L., Stefanini, L., y 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. *Journal of Dairy Science*, 83(7), 1468-1478.
- Adrien, M.L., Mattiauda, D.A., Artegoitia, V., Carriquiry, M., Motta, G., Bentancur, O. y 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.
- Albino, R.L., Guimarães, S.E.F., Daniels, K.M., Fontes, M.M.S., Machado, A.F., dosSantos, G.B., y Marcondes, M.I. (2017). Technical note: Mammary gland ultrasonography to evaluate mammary parenchymal composition in prepubertal heifers. *Journal of Dairy Science*, 100, 1588–1591.
- Albino, R.L. Marcondes, M.I., Akers, R.M. Detmann, E., Carvalho, B.C. y Silva, T.E. (2015). Mammary gland development of dairy heifers fed diets containing increasing levels of metabolisable protein: metabolisable energy. *Journal of Dairy Research*, 82, 113–120.
- Association of Analytical Communities (2000). Official methods of analysis of AOAC International, 17th ed., Gaithersburg, MD, USA: AOAC.
- Ávila Téllez, S. (2010). *Producción de leche con ganado bovino*. México: Manual Moderno.
- Berra, G. (1998). Recría de vaquillonas en el tambo. *Revista de Medicina Veterinaria*, 79(3), 237-242.
- Berra, G. (2005). Buenas prácticas en la crianza y recría de vaquillonas en el tambo. En: Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornadas Uruguayas de Buiatría* (Vol. XXXIII, p. 87), Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.
- Brown, E. G., VandeHaar, M. J., Daniels, K. M., Liesman, J. S., Chapin, L. T., Keisler, D. H., y Nielsen, M. W. (2005a). Effect of increasing energy and protein intake on body growth and carcass composition of heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 88(2), 585–594.
- Brown, E.G., VandeHaar, M.J., Daniels, K.M., Liesman, J.S., Chapin, L.T., Forrest, J.W. y Nielsen, M.W. (2005b). Effect of increasing energy and protein intake on mammary development in heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 88, 595–603.
- Buskirk, D.D., Faulkner, D.B., Hurley, W.L., Kesler, D.J., Ireland, F.A., Nash, T.G., Castree, J.L. y Vicini, J.L. (1996). Growth, reproductive performance, mammary development, and milk production of beef heifers as influenced by prepubertal dietary energy and administration of bovine somatotropin. *Journal of Animal Science*, 74(11), 2649-2662.
- Byerley, D. J., Staigmiller, R. B., Berardinelli, J. G., y Short, R. E. (1987). Pregnancy rates of beef heifers bred either on puberal or third estrus. *Journal of Animal Science*, 65(3), 645–650.

- Capuco, A.V., Smith, J.J., Waldo, D.R., y Rexroad Jr, C.E. (1995). Influence of prepubertal dietary regimen on mammary growth of Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*, 78(12), 2709-2725.
- Chelikani, P., Ambrose, D., Keisler, D., y Kennelly, J. (2009). Effects of dietary energy and protein density on plasma concentrations of leptin and metabolic hormones in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 92, 1430–1441.
- Chilibroste, P., y Dutour, J. (2011). *Efecto de la edad y peso al parto sobre la performance productiva y reproductiva de vaquillonas Holando durante las 3 primeras lactancias* (Reporte final de Proyecto CSIC-UdelaR), Recuperado de <http://spluy.com/documentos/proyectosejecutados/efectodelaedad.pdf>
- Choi, Y.J., Han, I.K., Woo, J.H., Lee, H.J., Jang, K., Myung, K.H., y Kim, Y.S. (1997). Compensatory growth in dairy heifers: The effect of a compensatory growth pattern on growth rate and lactation performance. *Journal of Dairy Science*, 80(3), 519–524.
- Costa, M., Bussoni, A., Mello, R., Santoro, M., Rodríguez, D., y Landa, F. (2010). Campos de cría en el Uruguay: gestión de los recursos y formas contractuales. *Agrociencia (Uruguay)*, 14(2), 66-76.
- Daccarett, M., Bortone, E., Isbell, D., y Morrill, J. (1993). Performance of Holstein heifers fed 100% or more of national research council requirements. *Journal of Dairy Science*, 76, 606-614.
- Dado-Senn, B., Laporta, J., y Dahl, G. E. (2020). Carry over effects of late-gestational heat stress on dairy cattle progeny. *Theriogenology*, 154, 17–23.
- Daniels, K.M., McGilliard, M.L., Meyer, M.J., Van Amburgh, M.E., Capuco, A.V. y Akers, R.M. (2009). Effects of body weight and nutrition on histological mammary development in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*, 92(2), 499-505.
- Davis Rincker, L.E., VandeHaar, M.J., Wolf, C.A., Liesman, J.S., Chapin, L.T., y Weber Nielsen, M.S. (2011). Effect of intensified feeding of heifer calves on growth, pubertal age, calving age, milk yield, and economics. *Journal of Dairy Science*, 94(7), 3554–3567.
- Davis, C.L., y Drackley, J.K. (2002). Desarrollo, nutrición y manejo del ternero joven, Buenos Aires: Inter-Médica.
- Deelen, S.M., Ollivett, T.L., Haines, D.M., y Leslie, K.E. (2014). Evaluation of a brix refractometer to estimate serum immunoglobulin G concentration in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 97, 3838-3844.
- De la Quintana Rivoir, E. (2017). *Impacto de diferentes planes de alimentación pos-desleche enterneras Holstein de reemplazo* (Tesis de maestría). Universidad de la República, Facultad de Veterinaria, Montevideo.
- 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). Facultad de Veterinaria, UdelaR, Montevideo.

- Di Marco, O. (1994). *Crecimiento y respuesta animal*. Mar del Plata: Asociación Argentina de producción animal.
- Drackley, J.K. (2008). Calf nutrition from birth to breeding. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24:55–86
- Ellenberger, M.A., Johnson, D.E., Carstens, G.E., Hossner, K.L., Holland, M.D., Nett, T.M. y Nockels, C.F. (1989). Endocrine and metabolic changes during altered growth rates in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 67(6), 1446-1454.
- Esselburn, K.M., Hill, T.M., Bateman, H.G., Fluharty, F.L., Moeller, S.J., O'Diam, K.M., y Daniels, K.M. (2015). Examination of weekly mammary parenchymal area by ultrasound, mammary mass, and composition in Holstein heifers reared on 1 of 3 diets from birth to 2 months of age. *Journal of Dairy Science*, 98, 5280–5293.
- Fernández Abella, D.H. (1993). Regulación hormonal del crecimiento de los rumiantes. En: Ficha de apoyo docente (pp. 35-45). Montevideo: Facultad de Agronomía, Universidad de la República.
- Fiol, C., Carriquiry, M., y Ungerfeld, R. (2017). Social dominance in prepubertal dairy heifers allocated in continuous competitive dyads: Effects on body growth, metabolic status, and reproductive development. *Journal of Dairy Science*, 100(3), 2351–2359.
- Ford, J.A., y Park, C.S. (2001). Nutritionally Directed Compensatory Growth Enhances Heifer Development and Lactation Potential. *Journal of Dairy Science*, 84(7), 1669–1678.
- Freetly, H.C., Kuehn, L.A., y Cundiff, L.V. (2011). Growth curves of crossbred cows sired by Hereford, Angus, Belgian Blue, Brahman, Boran, and Tuli bulls, and the fraction of mature body weight and height at puberty. *Journal of Animal Science*, 89, 2373-2379.
- Hill, T.M., Bateman, H.G., Aldrich, J.M., y Schlotterbeck, R.L. (2010). Effect of milk replacer program on digestion of nutrients in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 1105–1115.
- Hoffman, P.C. (1997). Optimum body size of Holstein replacement heifers. *Journal of Animal Science*, 75, 836 – 845.
- Hohenboken, W.D., Foldager, J., Jensen, J., Madsen, P., y Andersen, B.B. (1995). Breed and nutritional effects and interactions on energy intake, production and efficiency of nutrient utilization in young bulls, heifers and lactating cows. *Acta Agriculturae Scandinavica A-Animal Sciences*, 45(2), 92-98.
- Houseknecht, K.L., Boggs, D.L., Champion, D.R., Sartin, J.L., Kiser, T.E., Rampacek, J.B., y Amos, H.E. (1988). Effect of dietary energy source and level of serum growth hormone, insulin-like growth factor-I, growth and body composition in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 66, 2916–2923.

- Hu, W., Hill, T.M., Dennis, T.S., Suarez-Mena, F.X., Aragona, K.M., Quigley, J.D. y Schlotterbeck, R.L. (2020). Effects of milk replacer feeding rates on growth performance of Holstein dairy calves to 4 months of age, evaluated via a meta-analytical approach. *Journal of Dairy Science*, 103, 2217–2232.
- Johnsson, I.D. y Hart, I.C. (1985). Pre-pubertal mammogenesis in the sheep 1, The effects of level of nutrition on growth and mammary development in female lambs. *Animal Science*, 41(3), 323-332.
- Knight, C.H. y Wilde, C.J. (1993). Mammary cells change during pregnancy and lactation. *Livestock Production Science*, 35(1-2), 3-19.
- Lage, C. F. A., Azevedo, R. A., Machado, F. S., Campos, M. M., Pereira, L. G. R., Tomich, T. R., Carvalho, B. C., Alves, B. R. C., Santos, G. B., Brandão, F. Z., Coelho, S. G. (2017). Effect of increasing amounts of milk replacer powder added to whole milk on postweaning performance, reproduction, glucose metabolism, and mammary fat pad in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8967–8976.
- Lammers, B.P., Heinrichs, A.J. y Kensing, R.S. (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. *Journal of Dairy Science*, 82(8), 1753-1764.
- Le Cozler, Y., Lollivier, V., Lacasse, P., y Disenhaus, C. (2008). Rearing strategy and optimizing first-calving targets in dairy heifers: a review. *Animal*, 2, 1393-1404.
- Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 57:347–358.
- Mejoramiento y Control Lechero Uruguayo. (2013). *La Vaca Promedio "Mejoramiento Lechero" (2008-2012)*. Recuperado de www.mejoramientolechero.org.uy
- Mendoza, A. (2007). El corral como alternativa para la recría del tambo. En: *Curso a distancia sobre "engorde a corral"* (pp. 40-53). Montevideo: Facultad de Veterinaria, Universidad de la República.
- Mendoza, A., Acosta, Y., Román, L., Pla, M., y La Manna, A. (2014). Manejo de la recría en los tambos. Aportes desde INIA. *Revista INIA*, (37), 32-35.
- Mendoza, A., De Trinidad, S., Viñoles, C., Cajarville, C., Morales, T., Pla, M., y Garófalo, E. (2016). Effect of pre-weaning plane of nutrition on body size and age at puberty in dairy calves. En *67º Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*, Belfast, Reino Unido.
- Meyer, M. J., Capuco, A. V., Ross, D. A., Lintault, L. M., y Van Amburgh, M. E. (2006a). Developmental and nutritional regulation of the prepubertal heifer mammary gland: I. Parenchyma and fat pad mass and composition. *Journal of Dairy Science*, 89(11), 4289–4297.

- Meyer, M.J., Capuco, A.V., Ross, D.A., Lintault, L.M. y Van Amburgh, M.E. (2006b). Developmental and nutritional regulation of the prepubertal bovine mammary gland: II, Epithelial cell proliferation, parenchymal accretion rate, and allometric growth. *Journal of Dairy Science*, 89(11),4298-4304.
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2018). *Anuario estadístico agropecuario 2018*. Montevideo: DIEA. Recuperado de <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2018/Anuario2018.pdf>
- Moratorio, M., Amil, A., Pedrozo, M., Ungerfeld, R., Carriquiry, M., y Fiol, C. (2020). Repeated regroupings affect body and reproductive development and energetic metabolism. *Journal of Dairy Science*, 103(Suppl 1), 112.
- Morrison, S. J., Wicks, H. C. F., Fallon, R. J., Twigge, J., Dawson, L. E. R., Wylie, A. R. G., y Carson, A. F. (2009). Effects of feeding level and protein content of milk replacer on the performance of dairy herd replacements. *Animal*, 3(11), 1570–1579.
- Murdoch, G.K., Okine, E.K., Dixon, W.T., Nkrumah, J.D., Basarab, J. y Christopherson, R.J. (2005). Growth. En: Dijkstra, J. M. Forbes, y J. France (Ed.), *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism* (2ª ed. pp. 489-521). Wallingford: CABI.
- Murphy, M.G., Enright, W.J., Crowe, M.A., McConnell, K., Spicer, L.J., Boland M.P., y Roche, J.F. (1991). Effect of dietary intake on pattern of growth of dominant follicles during the oestrous cycle in beef heifers. *Journal of Reproduction and Fertility*, 92, 333-338.
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7ª ed.). Washington: National Academy.
- Nishimura, M., Yoshida, T., Sabry, E.K., Miyoshi, M., Furuoka, H., Yasuda, J., y Miyahara, K. (2011). Ultrasound imaging of mammary glands in dairy heifers at different stages of growth. *Journal of Veterinary Medical Science*, 73, 19–24.
- Osacar, G., Berra, G., y Mate, A. (2010). La guachera es una unidad productiva. Buenos Aires: Producir XXI.
- Park, C.S., Erickson, G.M., Choi, Y.J., y Marx, G.D. (1987). Effect of compensatory growth on regulation of growth and lactation: response of dairy heifers to a stair-step growth pattern. *Journal of Animal Science*, 64(6), 1751-1758.
- Perri, A. F., Mejía, M. E., Licoff, N., Diab, S. S., Formía, N., Ornstein, A., y Lacau-Mengido, I.M. (2013). Gastrointestinal parasite control during prepuberty improves mammary parenchyma development in Holstein heifers. *Veterinary Parasitology*, 198(3-4), 345-350.
- Petitclerc, D., Chapin, L.T., Emery, R.S. y Tucker, H.A. (1983). Body growth, growth hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science*, 57 (4), 892-898.

- Pirlo, G., Miglior, F., y Speroni, M, (2000). Effect of age at first calving on production traits and on difference between milk yield returns and rearing costs in Italian Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 83(3), 603-608.
- Purup, S., Sejrsen, K., Foldager, J., y Akers, R.M. (1993). Effect of exogenous bovine growth hormone and ovariectomy on prepubertal mammary growth, serum hormones and acute in-vitro proliferative response of mammary explants from Holstein heifers. *Journal of Endocrinology*, 139(1), 19-26.
- Quigley, J.D. (2019). Symposium review: Re-evaluation of National Research Council energy estimates in calf starters. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3674–3683.
- Radcliff, R.P., Vandehaar, M.J., Chapin, L.T., Pilbeam, T.E., Beede, D.K., Staniszewski, E.P. y Tucker, H.A. (2000). Effects of Diet and Injection of Bovine Somatotropin on Prepubertal Growth and First-Lactation Milk Yields of Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 83(1), 23-29.
- Roche, J. R., Dennis, N. A., Macdonald, K. A., Phyn, C. V. C., Amer, P. R., White, R. R., y Drackley, J. K. (2015). Growth targets and rearing strategies for replacement heifers in pasture-based systems: A review. *Animal Production Science*, 55(7), 902–915.
- Rosadiuk, J.P., Bruinjé, T.C., Moslemipur, F., Fischer-Tlustos, A.J., Renaud, D.L., Ambrose, D.J., y Steele, M.A, (2021). Differing planes of pre-and postweaning phase nutrition in Holstein heifers: I, Effects on feed intake, growth efficiency, and metabolic and development indicators. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 1136-1152.
- Schild, C.O., Caffarena, R.D., Gil, A., Sánchez, J., Riet-Correa, F., y Giannitti, F. (2020). A survey of management practices that influence calf welfare and an estimation of the annual calf mortality risk in pastured dairy herds in Uruguay. *Journal of Dairy Science*, 103(10), 9418–9429.
- Sejrsen, K., Purup, S., Vestergaard, M., y Foldager, J. (2000). High body weight gain and reduced bovine mammary growth: physiological basis and implications for milk yield potential. *Domestic Animal Endocrinology*, 19(2), 93-104.
- Silva, A.L., Marcondes, M.I., Detmann, E., Machado, F.S., Valadares Filho, S.C., Trece, A.S., y Dijkstra, J. (2015). Effects of raw milk and starter feed on intake and body composition of Holstein x Gyr male calves up to 64 days of age. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2641-2649.
- Sinha, Y.N. y Tucker, H.A. (1969). Mammary Development and Pituitary Prolactin Level of Heifers from Birth through Puberty and during the Estrous Cycle. *Journal of Dairy Science*, 52(4), 507-512.
- Soberon, F., Raffrenato, E., Everett, R.W. y Van Amburgh, M.E. (2012). Prewaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 95(2), 783-793.
- Soberon, F., y Van Amburgh, M.E. (2017). Effects of preweaning nutrient intake in the developing mammary parenchymal tissue. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 4996-5004.

- Surraco, L. (1993). Crecimiento y desarrollo. En: Crecimiento. Ficha de apoyodocente (pp,1-10). Montevideo: Facultad de Agronomía, Universidad de la República.
- Swanson, E.W., y Poffenbarger, J.I. (1979). Mammary gland development of dairy heifers during their first gestation. *Journal of Dairy Science*, 62(5), 702-714.
- Terré, M., Devant, M., y Bach, A. (2006). Performance and nitrogen metabolism of calves fed conventionally or following an enhanced-growth feeding program during the preweaning period. *Livestock Science*, 105(1–3), 109–119.
- Terré, M., Tejero, C., y Bach, A. (2009). Long-term effects on heifer performance of an enhanced-growth feeding programme applied during the preweaning period. *The Journal of Dairy Research*, 76(3), 331–339.
- Tucker, H.A. (1987). Quantitative estimates of mammary growth during various physiological states: a review. *Journal of Dairy Science*, 70(9), 1958-1966.
- Ungerfeld, R., y Fila, D. (2011). Testicular fluid content evaluated by ultrasound image computer assisted analysis increases with small dose multiple GnRH injections in rams. *Reproduction in Domestic Animals*, 46, 720-723.
- Van Amburgh, M. E., Galton, D. M., Bauman, D. E., Everett, R. W., Fox, D. G., Chase, L. E., y Erb, H. N. (1998). Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *Journal of Dairy Science*, 81(2), 527–538.
- Van Amburgh, M.E., Soberon, F., Meyer, M.J., y Molano, R.A. (2019). Integration of postweaning nutrient requirements and supply with composition of growth and mammary development in modern dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3692–3705.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583–3597.
- Valentine, S.C., Dobos, R.C., Lewis, P.A., Bartsch, B.D., y Wickes, R.B. (1987). Effect of live weight gain before or during pregnancy on mammary gland development and subsequent milk production of Australian Holstein-Friesian heifers. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 27(2) 195 – 204.
- Wattiaux, A.M. (1994). Tasa de crecimiento. En Guíatécnica leche (pp,133-136). *Madison: Universidad de Wisconsin, Instituto Babcock*.
- Weller, M.M.D.C.A., Albino, R.L., Marcondes, M.I., Silva, W., Daniels, K.M., Campos, M.M. y Guimarães, S.E.F. (2016). Effects of nutrient intake level on mammary parenchyma growth and gene expression in crossbred (Holstein x Gyr) prepubertal heifers. *Journal of Dairy Science*, 99(12), 9962-9973.
- Yelich, J., Wettemann, R., Marston, T., y Spicer, L. (1996). Luteinizing hormone, growth hormone, insulin-like growth factor-I, insulin and metabolites before puberty in heifers fed to gain at two rates. *Domestic Animal Endocrinology*, 13, 325-338.

Zanton, G.I., y Heinrichs, A.J. (2007). The Effects of Controlled Feeding of a High-Forage or High-Concentrate Ration on Heifer Growth and First-Lactation Milk Production. *Journal of Dairy Science*, 90(7), 3388-3396.