

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA**

**IMPACTO DE DIFERENTES GANANCIAS DE PESO VIVO POST DESLECHE
SOBRE EL INICIO DE LA PUBERTAD EN VAQUILLONAS HOLSTEIN**

por:

MILSEV, Maximiliano

TESIS DE GRADO presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de Doctor en
Ciencias Veterinarias

Orientación: Producción Animal, Bloque
Rumiantes

MODALIDAD Ensayo Experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2021**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Presidente de Mesa:



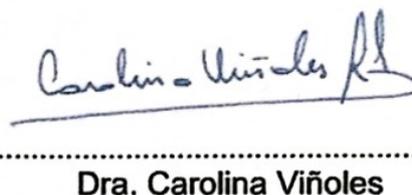
.....
Dr. Germán Antúnez

Segundo Miembro (Tutor):



.....
Ing. Agr. Alejandro Mendoza

Tercer Miembro:



.....
Dra. Carolina Viñoles

Cuarto Miembro (Co-tutor):



.....

Dra Carolina Fiol

Quinto Miembro (Co-tutor):



.....

Dr. Emanuel De la Quintana

Fecha: 4 de mayo de 2021

Autores:



.....

Maximiliano Milsev Decuadra

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer muy especialmente a mi familia por el apoyo que me brindo tanto económico como anímicamente estando siempre a mi lado. También agradecer a Fvet y a INIA La Estanzuela por darme la posibilidad de dejarme utilizar sus recursos humanos y materiales para poder incorporar conocimientos muy valiosos los cuales serán de mucha ayuda en mi vida profesional. Es tanta la gente a la que quiero agradecer que no me daría este trabajo para ponerlos a todos, pero me gustaría remarcar un agradecimiento para el Dr. Emanuel de la Quintana y para el Dr. Ing. Agr. Alejandro Mendoza los cuales fueron pilares fundamentales para la realización del presente trabajo, a la Dra. Carolina Fiol por la co-tutoría, así como a toda la unidad de Tambo de INIA La Estanzuela (Lobo López y señora, Tomy López, Bruno López, Marcelo Pla y el resto de trabajadores del tambo). Por último y no menos importante agradecer a la Dra. Inés Lapaz quien me apoyo en la finalización del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
TABLA DE CONTENIDO	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	5
1. RESUMEN	6
SUMMARY	7
2. INTRODUCCIÓN	8
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 Aspectos generales de la producción de leche en el Uruguay	10
3.2 Recría de vaquillonas en un sistema lechero	10
3.3 Situación de la recría de vaquillonas en sistemas lecheros en Uruguay	10
3.4 Crecimiento y desarrollo de la ternera durante la recría	11
3.5 Endocrinología reproductiva de la hembra bovina	12
3.5.1 Hipotálamo y glándula pituitaria anterior	12
3.5.2 Ovarios	14
3.6 Pubertad en bovinos	15
3.7 Efectos del nivel de alimentación post desleche sobre el inicio de la pubertad.	16
4. HIPÓTESIS	18
5. OBJETIVOS	19
5.1 Objetivo General	19
5.2 Objetivos Específicos	19
6. MATERIALES Y MÉTODOS	20
6.1. Tratamientos	20
6.2 Mediciones	21
6.2.1 Mediciones de peso vivo	21
6.3 Análisis estadístico	22
7. RESULTADOS	23
7.1 Evolución del peso	23
7.2. Pubertad	23
7.3. Glucosa y hormonas en sangre	24
8. DISCUSIÓN	26
9. CONCLUSIONES	30
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Página

Tabla 1. Composición química de los alimentos usados (datos expresados en base seca, salvo que se indique lo contrario).....	21
Tabla 2. Peso vivo y efecto de los tratamientos de vaquillonas Holstein manejadas bajo dos planos de alimentación posdesleche en el período de aplicación de los tratamientos y en el período residual	23
Tabla 3. Ecuaciones de evolución de peso vivo de vaquillonas Holstein posdesleche en el período de aplicación y residual ($Y = \text{intercepto} + \text{día} \times \beta_1$). Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar para el parámetro de la ecuación.....	24
Tabla 4. Concentraciones sanguíneas de IGF-I, insulina y glucosa de vaquillonas Holstein posdesleche medidas en el período de aplicación o el período residual	25
Figura 1. Interacciones endócrinas dentro del sistema hipotalámico-pituitario-ovárico. Imagen extraída de Schillo (2011).....	12
Figura 2. Cambios fisiológicos y endocrinológicos durante el período de peri-pubertad en vaquillonas. Imagen extraída de Day y Nogueira (2013).	16
Figura 3. Proporción de vaquillonas púberes según edad en dos grupos de vaquillonas sometidas a diferentes ganancias de peso vivo posdesleche. TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 600-700 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 1000-1100 g/día.....	24
Figura 4. Concentración sanguínea de IGF-I de vaquillonas Holstein posdesleche 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 600-700 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 1000-1100 g/día.....	25

1. RESUMEN

En la Unidad de lechería de INIA “La Estanzuela” se llevó a cabo un ensayo para evaluar el efecto del plano de alimentación post-desleche sobre la llegada a la pubertad en vaquillonas. Se utilizaron 40 vaquillonas Holstein deslechadas, que fueron asignadas a 2 tratamientos, correspondientes a 2 planos de alimentación para lograr 2 ganancias de peso vivo distintas: 700-800 (**TMEDIA**) o 1000-1100 (**TALTA**) g/día. Para ambos tratamientos se utilizó una misma ración totalmente mezclada (RTM) que fue ofrecida en distinta cantidad según el tratamiento para lograr las ganancias deseadas. 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 consumo de nutrientes, peso vivo, y se determinó la concentración sanguínea 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 transrectal semanal. Las vaquillonas **TALTA** tuvieron una mayor ganancia de peso que las **TMEDIA**, y una mayor concentración sanguínea de IGF-I, aunque no de insulina ni de glucosa, durante el período de aplicación de los tratamientos. Si bien no hubo diferencias en la proporción final de vaquillonas que llegaron a la pubertad, o en la edad promedio en que ocurrió la misma, la velocidad con que las vaquillonas **TMEDIA** llegaron a la pubertad fue más rápida.

SUMMARY

In the dairy unit of INIA "La Estanzuela" an essay was carried out to evaluate the effect of the postweaning feeding plan on the puberty entrance in heifers. 40 weaned Holstein heifers were used, which were assigned to 2 treatments, corresponding to 2 feeding planes to achieve 2 different live weight gains: 700-800 (TMEDIA) or 1000-1100 (TALTA) g / day. For both treatments, the same fully mixed ration (RTM) was used, which was offered differently depending on the treatment to achieve the desired gains. A corrals-design was used, with 5 repetitions of 4 animals each per treatment. The treatments were applied for 120 consecutive days, and during this period, measurements of nutrient consumption, body weight, and blood concentration of IGF-I, insulin and glucose were determined. At the end of the application of the treatments, all the animals were managed as a single group to evaluate the residual effects for 150 days, and the entrance to puberty was determined by weekly transrectal ultrasonography. The TALTA heifers had a greater weight gain than the TMEDIA, and a higher blood concentration of IGF-I, although not of insulin or glucose, during the period of application of the treatments. While there was no difference in the final proportion of heifers that reached puberty, or in the average age at which puberty occurred, the speed with which TMEDIA heifers reached puberty was faster.

2. INTRODUCCIÓN

Distintos trabajos han señalado que, las vaquillonas que paren a una corta edad tienen una menor producción de leche durante su primera lactación; sin embargo, el rendimiento durante su vida productiva es significativamente mayor que el de vaquillonas que tuvieron su primer parto a una edad más avanzada (Mendoza, 2007). Sin embargo, si bien existen razones biológicas y económicas que favorecen establecer el primer parto a los 2 años de la vaquillona, según información reportada por el Instituto nacional de mejoramiento lechero (INML, 2013), la vaca promedio en Uruguay entra al primer servicio recién cuando tienen 26,6 meses, siendo el primer parto a los 35,6 meses. La edad al primer parto influye en la producción estandarizada de leche, observándose mejores producciones a edades intermedias.

Si bien las tecnologías, el manejo y la genética juegan un papel en la mejora del desarrollo de las vaquillonas, mejorar el plan nutricional puede ser una estrategia altamente rentable para maximizar el crecimiento y desarrollo de las vaquillonas (Rosadiuk y col., 2020). En la etapa de recría es muy importante evitar restricciones en cantidad y calidad del alimento ya que esto lleva a que las vaquillonas prolonguen la edad al primer servicio y lleguen con pesos bajos al primer parto. Para ello se ha establecido en todas las razas y biotipos lecheros, que las vaquillonas deberían tener una tasa de crecimiento que les permita alcanzar el 30% del peso adulto a los 6 meses, el 60% a los 15 meses (momento del servicio) y el 85-90% a los 24 meses (momento del parto) (MacDonald y col., 2005). Sin embargo, el peso vivo no es el único parámetro para tener en cuenta, sino que para evaluar el grado de desarrollo corporal deben considerarse otros como, el perímetro torácico, la altura a la cruz, la altura a la cadera, y el largo corporal. Por otro lado, investigadores daneses han demostrado que si las tasas de crecimiento durante la recría y antes de la pubertad son muy altas (mayores a 700 g/día en vaquillonas Holstein), la producción de leche en la primera lactancia se puede ver resentida, posiblemente a través de alteraciones de la glándula mamaria (Sejrsen y col., 2000). A pesar de lo anterior, Waldo y col. (1988) no encontraron ningún efecto de aumentar la tasa de crecimiento prepuberal de 785 a 995 g/día en el potencial de producción de leche posterior. En una revisión de distintos trabajos, aumentos en la ganancia de peso hasta 800 g/día durante la fase alométrica de crecimiento mamario, que ocurre entre el desleche y la pubertad, ha demostrado tener un efecto positivo sobre la producción de leche en la primera lactancia, pero ganancias mayores o menores la redujeron (Zanton y Heinrichs, 2009).

La pubertad en la hembra se define como el inicio de la función cíclica reproductiva, cuando un animal es capaz de desarrollar un comportamiento sexual completo, producir y liberar gametos. A nivel ovárico las terneras prepúberes poseen folículos en crecimiento mucho tiempo antes del inicio de la actividad cíclica del ovario (Perry, 2012).

Distintos factores pueden afectar el establecimiento de la pubertad. Shamay y col. (2005) utilizaron distintos planos nutricionales en terneras Holstein, y observaron que animales alimentados con una dieta con mayor aporte de energía alcanzaban la pubertad 23 días más temprano y eran 12 kg más livianas que los manejados con un menor aporte de energía. En otro trabajo, un aumento de la cantidad de proteína y energía en una dieta para tener tasas de ganancia de 600 g/día dio como resultado

un peso a la entrada a la pubertad 20 kg más liviano y 31 días antes que en tratamientos con ganancias inferiores (Davis y col., 2011).

De acuerdo con la bibliografía consultada, en Uruguay no existe información publicada referente al manejo nutricional durante la recría de vaquillonas de razas lecheras y sus efectos sobre el desarrollo reproductivo. Por tanto, considerando el potencial impacto de las ganancias de peso durante la recría en el inicio de la pubertad, la presente tesis se enfocó en reportar los efectos de las ganancias de peso vivo post-desleche sobre el inicio de la pubertad en vaquillonas Holstein. El trabajo se planteó en el marco de un proyecto más amplio que busca estudiar el efecto de la ganancia de peso vivo post-desleche de vaquillonas sobre la producción de leche en la primera lactancia.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos generales de la producción de leche en el Uruguay

Durante los últimos años la producción de leche viene aumentando en Uruguay. En el período 2016-2019 se incrementó la producción de 2.026 millones de litros a 2.168 millones de litros de leche. Es de destacar que el área dedicada al rubro disminuyó de 827 mil ha en 2016 a 761,5 mil ha en 2019. Este aumento notorio en la producción fue explicado en parte por un aumento de la producción individual (de 4768 L anual/vaca masa en 2016 a 5047 L anual/vaca masa en 2019), siendo el tamaño del rodeo nacional prácticamente el mismo. De acuerdo con la DIEA (2020), de 3700 tambos comerciales existentes en 2016 se pasó a 3.400 en 2019, una reducción en promedio de 100 tambos por año. Todos estos indicadores muestran claramente que el sector está en una constante intensificación, presionando siempre al productor a ser más eficiente (DIEA, 2020).

3.2 Recría de vaquillonas en un sistema lechero

La recría de vaquillonas lecheras es un área muy importante de gestión de todo tambo, que puede caracterizarse como un período de larga duración y alto costo relativo, lo que crea un retraso en un retorno de la inversión. Varios trabajos han propuesto y probado estrategias para minimizar costos asociados con la recría de vaquillonas lecheras y para reducir su duración antes del primer parto (Heinrichs, 1993). El aumento de la tasa de crecimiento es justamente una estrategia que puede reducir el tiempo que la vaquillona permanece en un estado no productivo (Capuco y col., 1995; Sejrsen y Purup, 1997). Sin embargo, cualquier estrategia debe tener en su núcleo el requisito de que la estrategia de alimentación seleccionada no reduzca la producción futura de la vaca lechera (Hoffman y Funk, 1992).

La edad con la que llegan las vaquillonas a la pubertad es un rasgo económico extremadamente importante en los sistemas de producción donde la eficiencia reproductiva es un objetivo principal. Uno de los mayores costos en la lechería es el alimento (Heinrichs, 1993). En general, alimentar animales que no son productivos reduce la eficiencia global de producción. En la mayoría de los sistemas intensivos de producción de lácteos, los productores se esfuerzan por tener vaquillonas primíparas antes de los 24 meses de edad y producir una cría cada año a partir de entonces. Para lograr esto, una vaquillona debería quedar preñada a los 15 meses de edad, tener un tamaño corporal suficiente para gestar la preñez, tener un parto sin distocia y suficientes reservas de energía corporal para volver al celo después del parto. Tanto la crianza como la recría están ocupando un lugar más importante dentro de la empresa lechera. La intensificación de la actividad nos obliga a ser más eficientes en todas las etapas productivas, acortando los tiempos y al menor costo posible (Carcano, 2011).

3.3 Situación de la recría de vaquillonas en sistemas lecheros en Uruguay

La recría es fundamental para el sector lechero, ya que todos los años se descartan animales adultos por varios motivos, y es necesario reponerlos (Repetto y col., 2016). La recría tiene una influencia muy importante en el futuro reproductivo y en la longevidad del ganado lechero. Para lograr la mayor producción de leche y

rentabilidad económica en toda la vida del animal, el primer parto debe ocurrir entre los 23 a 25 meses, esto requiere el primer servicio antes de los 15 meses. La pubertad debe ocurrir al menos 6 semanas antes del primer servicio, para que se desarrolle una serie de ciclos estrales de duración normal y así aumentar la fertilidad (Byerley y col., 1987, Wathes y col., 2014).

En un relevamiento de 18.000 vaquillonas lecheras realizada en 14 campos de recría (CR) en Uruguay realizado por Costa y col. (2010) se reportó que la ganancia diaria promedio durante la permanencia del animal fue de 416 g/día, que la edad promedio al primer parto estimada fue de 33 meses, y que el peso promedio de las vaquillonas a la salida del CR fue de 475 kg (hacia el séptimo mes de gestación). El 54% del área de los CR era campo natural sin mejorar, lo que en parte explica el bajo desempeño detectado en los animales. El trabajo deja como otro dato interesante que, en CR con ganancias diarias superiores al promedio las vaquillonas tuvieron su primer parto antes que el promedio (Costa y col., 2010).

A pesar de lo anterior, a nivel nacional existe poca información sobre el proceso de cría y recría de hembras lecheras de reemplazo. Sin embargo, según los datos del Instituto para el Mejoramiento y Control Lechero Uruguayo, que, indica que la edad promedio al primer parto es de 35,6 meses (INML, 2013). Esta edad al primer parto se encuentra muy por encima de los valores óptimos reportados en la bibliografía (Hoffman y Funk, 1992; Heinrichs, 1993; Le Cozler y col., 2008).

3.4 Crecimiento y desarrollo de la ternera durante la recría

El objetivo de la recría es proveer al tambo de animales saludables y capaces de expresar todo su potencial productivo durante su permanencia en el tambo. Ello se logra a través de un manejo que promueva un óptimo crecimiento y desarrollo del animal, y de su glándula mamaria. El plazo para alcanzar este objetivo debería ser el más corto posible, siempre que no comprometa la salud o la producción futura, de manera de reducir el período en que el animal no produce leche, lo que hace necesario definir metas sobre qué edad, peso y grado de desarrollo que debe alcanzar al primer parto (Wathes y col., 2014).

Si las vaquillonas llegan al primer parto con un peso muy bajo deben destinar más reservas corporales para crecer y no para producir leche. Por eso se ha reportado una relación positiva entre peso al parto y producción de leche. Para vacas con un peso adulto de 620 kg, se sugiere que el peso al primer parto que maximiza la producción de leche debe ser al menos de 530 kg, es decir, el 90% del peso adulto; este último valor podría ser usado de forma tentativa en caso de que el peso adulto del rodeo fuera diferente (MacDonald y col., 2005).

Conocido el peso y edad óptimos al primer parto, hay que establecer las ganancias de peso requeridas, y que no afecten el desarrollo de la glándula mamaria del animal. A partir de los dos o tres meses de edad, y hasta el inicio de la pubertad, la glándula crece más rápido que el resto del cuerpo, lo que se denomina crecimiento alométrico de la glándula mamaria (Lammers y col., 1999). Los aumentos en la ganancia de peso hasta 800 g/día durante la fase alométrica de crecimiento mamario, han demostrado tener un efecto positivo sobre la producción en la primera lactancia, pero ganancias mayores o menores la redujeron (Zanton y Heinrichs, 2009).

Un aspecto nutricional clave es la relación energía-proteína de la dieta, particularmente si se pretende una alta ganancia de peso de las vaquillonas antes de la pubertad. A mayor consumo de energía, la deposición de proteína se vuelve limitante y el exceso de energía se deposita como grasa, afectando el desarrollo mamario. Por su parte, el ofrecer una cantidad de proteína mayor a lo recomendado podría evitar estos efectos negativos. Se sugiere usar relaciones no menores a 46-48 g de proteína cruda/Mcal de energía metabolizable en animales previo a su pubertad. Este valor debería aumentar a medida que el animal es más joven y/o la ganancia esperada sea mayor (Mendoza y col., 2014).

Además de la edad y peso con que las vaquillonas llegan al parto, hay que considerar su desarrollo corporal para evitar problemas en el mismo. No hay un único sistema de alimentación para lograr las metas indicadas, y por eso la recría podría hacerse tanto con pasturas de alta calidad como en confinamiento. A medio camino entre estos extremos están los sistemas mixtos, donde el encierro se implementa de forma coyuntural, según la oferta de forraje del predio u otros factores (Hoffman y Funk, 1992; Heinrichs, 1993; Le Cozler y col., 2008).

3.5 Endocrinología reproductiva de la hembra bovina

Los principales componentes anatómicos del sistema reproductivo endocrino de las vacas incluyen el hipotálamo, la glándula pituitaria, los ovarios y el útero. Estos son órganos endócrinos y, por lo tanto, producen hormonas que permiten la comunicación entre los diversos tejidos reproductivos. Para comprender los mecanismos fisiológicos que rigen el inicio de la pubertad, es necesario comprender cómo el hipotálamo, la glándula pituitaria y los ovarios interactúan de manera endócrina (Ungerfeld, 2002) (ver Figura 1).

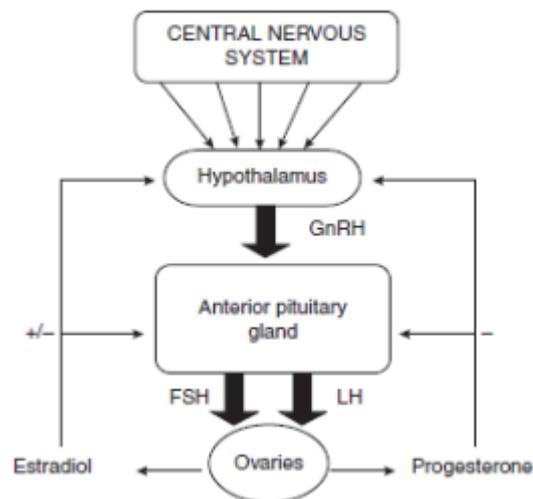


Figura 1. Interacciones endócrinas dentro del sistema hipotálamico-pituitario-ovárico. Imagen extraída de Schillo (2011).

3.5.1 Hipotálamo y glándula pituitaria anterior

El sistema nervioso central, que incluye el hipotálamo, juega un papel fundamental en la regulación de la función reproductiva. Los centros superiores del cerebro reciben entradas neuronales de una variedad de sistemas de detección que monitorean los

ambientes internos y externos (por ejemplo, temperatura del ambiente, duración del día, estado nutricional) (Clarke y Arbabi, 2016).

La información transportada por estos sistemas se integra en el hipotálamo y se traduce en una señal neuroendócrina. Un pequeño número de neuronas en el hipotálamo produce la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), un decapeptido que se secreta en los capilares ubicados en la eminencia mediana del hipotálamo. La GnRH ingresa a estos capilares y es llevada a la glándula pituitaria anterior (adenohipófisis) a través de vasos porta, que drenan en otro lecho capilar. La acción principal de la GnRH es estimular la liberación de gonadotropinas, es decir, la hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH) (Delgado y col., 2011).

La GnRH se secreta de manera pulsátil y se ha demostrado que causa la liberación pulsátil de LH y de FSH. El patrón pulsátil de liberación de LH se puede demostrar midiendo las concentraciones circulantes de LH a intervalos frecuentes durante varias horas. La liberación pulsátil de GnRH se ha documentado midiendo las concentraciones de esta hormona en la sangre recolectada de los vasos pituitarios (Evans y col. 1994). La secreción pulsátil de la hormona aumenta abruptamente en minutos. Este aumento es seguido por una disminución más lenta, que refleja la eliminación de la hormona de la circulación. La secreción pulsátil se caracteriza típicamente por cuantificar la frecuencia de los pulsos (número de pulsos en un período de tiempo dado) y la amplitud de los pulsos (diferencia entre el pico de un pulso y el nadir anterior).

El eje hipotalámico-hipofisario y la capacidad de este sistema para sintetizar y secretar GnRH y gonadotropinas es completamente competente mucho antes del inicio de la pubertad. El sistema vascular portal hipotalámico-hipofisario parece estar desarrollado y funcional antes del nacimiento. La secreción de GnRH no se ha medido directamente en vaquillonas. Sin embargo, los terneros exhiben pulsos de GnRH en la sangre portal a las 2 semanas de edad. En vaquillonas los pulsos de LH aparecen en la circulación periférica a las 2 semanas de edad. Colectivamente, estos resultados respaldan la idea de que los mecanismos neuroendocrinos que controlan la liberación pulsátil de GnRH / LH son competentes a las 3-5 semanas de edad. Esto arroja dudas sobre la noción de que el desarrollo de este sistema es el paso limitante en la aparición de la pubertad (Day y Anderson, 1998).

Las gonadotropinas, LH y FSH, son liberadas en la circulación general por las células gonadotrópicas en la glándula pituitaria anterior. Estas hormonas regulan la función ovárica. En general, se acepta que la liberación pulsátil de LH es necesaria para el inicio y mantenimiento de la actividad ovárica, y para la maduración del folículo. En segundo lugar, una oleada de LH, que acompaña al estro, es necesaria para la ovulación y la formación del cuerpo lúteo. Por su parte, la FSH es importante para estimular el desarrollo temprano del folículo (antes de la maduración a la etapa preovulatoria) (Ungerfeld, 2002).

Las gonadotropinas regulan la producción de hormonas esteroideas ováricas, que a su vez regulan la liberación de gonadotropinas, la función uterina, el comportamiento sexual y la expresión de rasgos sexuales secundarios. La LH y la FSH actúan juntas para regular la producción de estradiol por las células de la granulosa de los folículos

ováricos, mientras que la LH sola parece gobernar la síntesis de progesterona por el cuerpo lúteo (Abi y Claus, 2005).

3.5.2 Ovarios

Los ovarios de las vaquillonas parecen ser funcionalmente competentes mucho antes del inicio de la pubertad. Los folículos vesiculares están presentes a las 2–4 semanas de edad, y alcanzan un pico en el tamaño promedio a las 12–16 semanas de edad antes de descender a un tamaño promedio que varía poco hasta el período peripubertal. Estos folículos responderán a las gonadotrofinas exógenas. El tratamiento con FSH y LH induce la ovulación en vaquillonas antes de 1 mes de edad, pero el número de ovulaciones inducidas aumenta entre 1 y 5 meses de edad (Ungerfeld, 2002).

Entre el nacimiento y la pubertad, los folículos crecen en ondas, lo que significa que, a intervalos regulares, los folículos dominantes emergen de grupos de folículos en crecimiento y luego retroceden antes de llegar a la etapa preovulatoria. El tamaño del folículo dominante aumenta con la edad. Los folículos dominantes del período prepuberal tardío producen suficiente estradiol para inducir el comportamiento estral y las oleadas de LH. El primero de estos períodos de estro no es seguido necesariamente por la ovulación y un ciclo estral normal. Las vaquillonas peripuberales pueden exhibir celo en ausencia de un ciclo estral posterior. La primera ovulación normalmente está precedida por una o dos oleadas de LH seguidas de elevaciones en la progesterona que son de menor magnitud y duración que las expresadas durante una fase lútea normal. Estas fases luteales cortas se atribuyen a los folículos ováricos que se luteinizan, pero no ovulan (Day y Nogueira 2013).

Como se mencionó anteriormente, los ovarios regulan la secreción de gonadotrofina a través de las hormonas esteroides. La ovulación es inducida por una oleada de LH causada por una retroalimentación positiva de estradiol (Delgadillo y col., 2009). Este importante sistema de retroalimentación positiva parece estar completamente desarrollado antes del inicio de la pubertad. En vaquillonas, las inyecciones de estradiol inducen oleadas preovulatorias de LH en vaquillonas prepúberes a los 5 meses de edad. Esto sugiere que el inicio de la pubertad puede estar limitado más por el desarrollo de eventos que conducen al aumento de LH (es decir, niveles elevados de estradiol) que por el desarrollo de la capacidad de producir un aumento de LH. Aunque los folículos vesiculares aparecen en ondas durante todo el período prepuberal, no producen suficiente estradiol para inducir un aumento de LH. Por lo tanto, el paso limitante en la maduración sexual parece ser la aparición de la señal endocrina que estimula el desarrollo del folículo a la etapa preovulatoria. Esta señal parece ser el modo de alta frecuencia de secreción de LH (Day y col., 1984).

La secreción pulsátil de LH está regulada por las acciones de retroalimentación negativa de los esteroides ováricos. En vaquillonas, se ha demostrado un aumento en las concentraciones de LH después de la ovariectomía desde el primer mes de edad, lo que sugiere que la retroalimentación ovárica negativa está presente a esta edad. El estradiol parece ser el principal regulador de retroalimentación negativa de la secreción de LH antes del inicio de la pubertad. En vaquillonas ovariectomizadas, las dosis fisiológicas de este esteroide reducen las concentraciones de LH a niveles de preovariectomía (Seidel y col., 1971).

El aumento transitorio en la secreción pulsátil de LH entre los 3 y 5 meses de edad puede reflejar el desarrollo del circuito de retroalimentación negativa estradiol-LH. Aunque el sistema de retroalimentación negativa de estradiol puede estar presente antes de 1 mes de edad, puede no expresarse en este momento debido a niveles extremadamente bajos de estradiol. El aumento de las concentraciones de LH durante los primeros meses de edad puede atribuirse a que el estradiol ovárico alcance un umbral para inhibir la secreción de LH. A los 3-5 meses de edad, los ovarios producen suficiente estradiol para suprimir la secreción de LH. Sin embargo, la capacidad del estradiol para suprimir la liberación de LH cambia con el avance de la edad en las vaquillonas prepúberes. Las dosis fisiológicas de estradiol suprimen las concentraciones de LH en vaquillonas ovariectomizadas hasta la edad en que las vaquillonas intactas de ovario alcanzan la pubertad (Schillo y col., 1982). En este momento, el estradiol se vuelve menos efectivo para suprimir los pulsos de LH, es decir, los animales parecen escapar de la retroalimentación negativa del estradiol. (Schillo, 2011).

Poco se sabe sobre los mecanismos celulares y moleculares que regulan las acciones de retroalimentación negativa del estradiol. Parece probable que tales cambios se atribuyan a cambios en las neuronas de GnRH y/o neuronas que regulan las neuronas de GnRH. Hay evidencia para apoyar la idea de que los cambios en respuesta a la retroalimentación negativa del estradiol reflejan cambios en el número de receptores de estradiol en las neuronas que regulan la actividad secretora de las neuronas GnRH (Schillo, 2011).

Diversas entradas que transmiten información sobre los entornos externos e internos convergen en el hipotálamo. El hipotálamo traduce estas señales neuronales en una señal endócrina, es decir, el patrón de secreción de GnRH. La GnRH regula la liberación de FSH y LH desde la glándula pituitaria anterior. Estas gonadotropinas regulan la función ovárica que incluye la síntesis y secreción de las hormonas esteroides, estradiol y progesterona. Estos esteroides retroalimentan para regular la secreción de gonadotropina. En vaquillonas prepuberales, las bajas concentraciones de estradiol ejercen un efecto de retroalimentación negativa sobre la liberación pulsátil de LH. El estradiol también inhibe la liberación de FSH. Las altas concentraciones de estradiol (es decir, las presentes durante el estro) inducen un aumento preovulatorio de LH. La progesterona es la principal hormona de retroalimentación negativa que controla la secreción de LH en la vaca (Kinder y col., 1987).

3.6 Pubertad en bovinos

La pubertad es la etapa en la cual los animales pasan a ser sexualmente maduros, precedida por un período de maduración sexual y desarrollo fisiológico. Desde un punto de vista endócrino, la aparición de la pubertad es el resultado de una disminución en la retroalimentación negativa de estradiol sobre la secreción de LH, que conduce a un aumento en la secreción de LH en respuesta al aumento de la liberación de GnRH del hipotálamo (Day y Nogueira, 2013). La Figura 2 ilustra los cambios endócrinos previos que desencadenan la pubertad (Day y Nogueira, 2013).

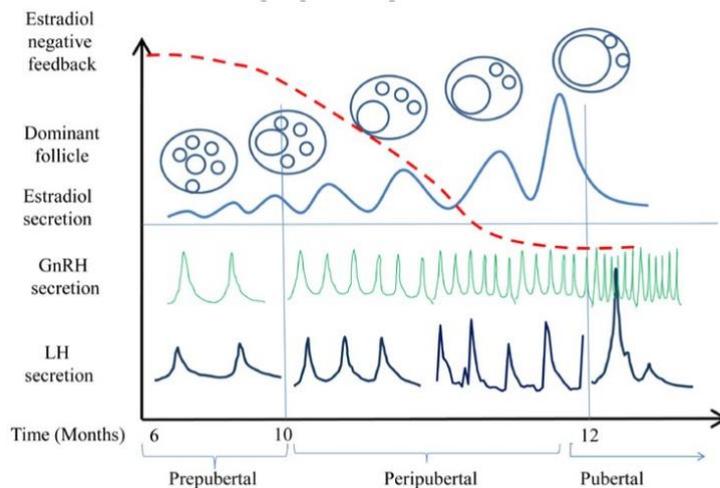


Figura 2. Cambios fisiológicos y endocrinológicos durante el período de peripubertad en vaquillonas. Imagen extraída de Day y Nogueira (2013).

Varios estudios sugieren que la secreción posnatal temprana de gonadotrofinas es esencial para la iniciación del proceso de maduración sexual de las vaquillonas. En las mismas, hay un crecimiento de los folículos antrales estimulados por un aumento temprano de gonadotrofinas poco tiempo después del nacimiento. Este incremento inicial en la actividad endócrina parece ser subsecuentemente controlado por medio de una retroalimentación negativa, hasta que la vaquillona tenga la condición corporal suficiente o un estado metabólico maduro que sea apto para la reproducción (Berra, 2005).

Durante los 80 días previos a la primera ovulación, hay una disminución de la sensibilidad al efecto inhibitorio de la retroalimentación negativa sobre la secreción de LH, permitiendo de esta manera el incremento de la frecuencia de los pulsos de LH y estimulando el crecimiento de los folículos antrales y la secreción de estrógenos. El incremento de la secreción de estrógenos eventualmente causa el pico preovulatorio de LH y la primera ovulación (Berra, 2005).

La afirmación central de la teoría del inicio de la pubertad es que se requiere una cascada de eventos endócrinos para la ovulación, es decir, un modo de secreción de LH de alta pulsatilidad que estimula crecimiento de un folículo dominante hasta la etapa preovulatoria, lo que da como resultado la producción de suficiente estradiol para inducir el estro y causar un aumento preovulatorio de LH. Las vaquillonas prepuberales tienen la capacidad de expresar esta cascada a los 5-6 meses de edad, pero no lo hacen debido a una alta sensibilidad a la retroalimentación negativa del estradiol, que mantiene un modo de secreción pulsátil de LH de baja frecuencia. El inicio de la pubertad puede ocurrir solo después de que el eje hipotalámico-hipofisario escape de la retroalimentación negativa del estradiol, o cuando este efecto de retroalimentación negativa se anule mediante la administración de GnRH o LH exógenas (Day y Nogueira, 2013).

3.7 Efectos del nivel de alimentación post desleche sobre el inicio de la pubertad.

Petitclerc y col. (1983) evaluaron los efectos del fotoperíodo y el plano de nutrición sobre el crecimiento y la pubertad en 60 vaquillonas Holstein prepúberes. Se

asignaron a uno de los cuatro grupos de tratamiento factorial dispuestos 2 x 2. En el trabajo los planos de nutrición buscaban llegar a ganancias diarias de 700 gr/día y 1000 gr/día. Dichos autores observaron que, en comparación con el plano de nutrición bajo, los animales en el plano de nutrición alto alcanzaron la pubertad con un peso mayor y en un menor tiempo.

Lacasse y col. (1994) utilizaron 40 vaquillonas (313 ± 27 kg de peso) donde fueron asignadas a uno de cuatro tratamientos en un diseño factorial 2 x 2. Se estudiaron dos planos de nutrición (alimentación moderada y alta) durante 2 períodos: desde el primer año de edad y hasta 3 meses de gestación, y desde los 3 meses de gestación a 14 días antes del parto. Las concentraciones plasmáticas de IGF-I no se vieron afectadas por los diferentes planos de nutrición en ningún período. Sin embargo, se observó una mayor concentración de IGF-I en vaquillonas alimentadas con un plano de nutrición alto seguido de un plano de nutrición moderado, producto de una interacción significativa entre ambos períodos de aplicación de tratamientos y nivel de alimentación.

Por su parte, Capuco y col. (1995) realizaron un estudio donde se compararon 2 planos de ganancias de pesos (725 g/día o 950 g/día), con 2 dietas diferentes (ensilaje de alfalfa o de maíz), en un diseño factorial 2 x 2, utilizando 116 vaquillonas Holstein. Los autores observaron que las vaquillonas pertenecientes al grupo de alta tasa de ganancia con ensilaje de maíz tuvieron una mayor concentración de IGF-I con respecto a los demás tratamientos.

En otro trabajo realizado por Davis y col. (2011) se utilizaron 80 terneras Holstein y se evaluaron 2 tratamientos dietéticos diferentes en cuanto al aporte de energía y proteína durante la etapa de cría. La ganancia diaria promedio durante el período de tratamiento fue de 0,44 y 0,64 kg para los terneros con las dietas convencional e intensiva, respectivamente. Se observó que las vaquillonas alimentadas con la dieta intensiva en comparación con la dieta convencional fueron 31 días más jóvenes y 20 kg más livianas al inicio de la pubertad.

4. HIPÓTESIS

Las terneras Holstein que presentan mayor ganancia de peso vivo luego del desleche, llegarán antes a la pubertad que aquellas terneras que presentan una menor ganancia de peso vivo, lo que estará asociado a mayores concentraciones sanguíneas de hormonas metabólicas y metabolitos.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de diferentes ganancias de peso vivo luego del desleche sobre la entrada a la pubertad de terneras Holstein.

5.2 Objetivos Específicos

Estudiar de qué manera diferentes ganancias de peso luego del desleche afectan:

- La edad y el peso con la cual los animales ingresan a la pubertad.
- La concentración sanguínea de glucosa
- La concentración sanguínea de las hormonas metabólicas insulina e IGF-I.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo experimental se realizó en la Unidad de Lechería de INIA “La Estanzuela”, ubicada en el departamento de Colonia (Ruta 50, km 11). Para esto, se usaron 40 terneras Holstein nacidas durante marzo y mayo, de partos únicos (con un peso promedio al nacer de $42,9 \pm 4,9$ kg), que tuvieron un correcto calostro evaluado a través de la concentración de proteínas séricas usando un refractómetro digital ($> 8,2$ °Brix). A las 48 h de vida las terneras se ubicaron en una amamantadora automática (C400+ Calf feeder, GEA Farm Technologies, Oelde, Alemania) donde se les ofreció el siguiente plan de alimentación: 4 L/día/animal de leche vendible sin pasteurizar hasta el día 14 de vida, 6 L/día/animal hasta el día 42 de vida, y 3 L/día/animal hasta el día 48. Luego del desleche a los 49 días y hasta el ingreso a los tratamientos a todos los animales se les ofreció heno de alfalfa a voluntad y un concentrado iniciador comercial a razón de 2% del peso vivo-

Con un promedio de $77,7 \pm 8,1$ días de vida y un peso de $77,5 \pm 9,2$ kg, los animales fueron agrupados en grupos de 4 animales, homogéneos entre sí en cuanto a edad y peso, y cada grupo se asignó al azar a uno de 2 tratamientos, resultando 5 repeticiones (corrales) por tratamiento. Los animales permanecieron en los tratamientos durante 120 días consecutivos (período de aplicación de los tratamientos).

6.1. Tratamientos

Los tratamientos que se aplicaron fueron los siguientes:

- Nivel de alimentación para alcanzar una ganancia diaria de peso vivo de 700 a 800 g/día (TMEDIA).
- Nivel de alimentación para alcanzar una ganancia diaria de peso vivo de 1000 a 1100 g/día (TALTA).

Los animales fueron manejados en 10 corrales, de 4 animales cada uno, los que tenían una superficie de al menos 50 m² por animal, contando con un bebedero y un comedero colectivo. Las terneras se alimentaron una vez al día, con una ración totalmente mezclada preparada diariamente, y que se suministró por la mañana. La mezcla estuvo compuesta por ensilaje de maíz, heno de alfalfa, harina de soja y grano de maíz molido (Tabla 1). Para el promedio del período en que se aplicaron los tratamientos, la composición promedio de ingredientes en la ración totalmente mezclada (en base seca) fue 30,9, 24,1, 30,6, 10,8 y 3,6% para ensilaje de maíz, heno de alfalfa, harina de soja, grano de maíz y aditivos (bicarbonato de sodio, óxido de magnesio, fosfato bicálcico, y una sal comercial que aportó micro-nutrientes y vitaminas), respectivamente.

La ración totalmente mezclada fue la misma para todos los animales, y para lograr las ganancias objetivo de cada tratamiento, la cantidad ofrecida a los animales de cada corral se modificó quincenalmente, según el peso y la edad promedio de los animales en cada uno, usando el sistema propuesto por el NRC (2001). Las cantidades diarias consumidas en promedio por animal de materia seca, proteína cruda y energía metabolizable fueron 2,82 kg, 0,61 kg, y 6,85 Mcal en TMEDIA, respectivamente, y 3,79 kg, 0,87 kg y 9,68 Mcal en 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 (período residual). Las vaquillonas se alimentaron sobre pasturas a base de alfalfa (*Medicago sativa*) y festuca (*Festuca arundinacea*), con una oferta estimada en alrededor de 3% del peso vivo (base seca). También se les ofreció el mismo concentrado comercial usado inmediatamente luego del desleche, a razón de 1% del peso vivo (base seca), que fue ofrecido durante la mañana, y henolaje de alfalfa a voluntad (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química de los alimentos usados (datos expresados en base seca, salvo que se indique lo contrario).

	Ración totalmente mezclada	Pastura	Henolaje de alfalfa	Concentrado comercial
Materia seca, %	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 MS	2,51	2,16	1,94	2,98

6.2 Mediciones

6.2.1 Mediciones de peso vivo

El peso vivo se midió al inicio del experimento y quincenalmente durante el período de aplicación de los tratamientos utilizando una balanza digital (True test, EC2000, Auckland, Nueva Zelanda). Luego de finalizado los 120 días de tratamiento se realizaron las mediciones de peso cada 30 días.

6.2.2 Glucosa y hormonas en sangre

Las muestras de sangre se obtuvieron mensualmente desde el inicio del experimento hasta el año de vida. Durante el período de aplicación de los tratamientos las muestras se tomaron previo a la oferta de la ración totalmente mezclada, y en el período residual se tomaron previo a la oferta de concentrado. La manera de extracción de las muestras fue por venopunción yugular en 2 tubos, uno sin anticoagulante que se dejó a temperatura ambiente durante 2 h, luego se puso en un refrigerador a 4°C por 1 h más, y luego se centrifugó (3000 g durante 20 min a temperatura ambiente), y se separó el suero. El suero fue almacenado a -20 °C hasta determinar la concentración de IGF-I e insulina. Al otro tubo se le agregó fluoruro de potasio y EDTA (Wiener Laboratorios, Rosario, Argentina), y se centrifugó inmediatamente (3000 g durante 20 minutos a temperatura ambiente). El plasma de dicho tubo fue separado y almacenado a -20°C para determinar la concentración de glucosa.

Para determinar las concentraciones de insulina se realizó un ensayo inmunoradiométrico (Diasource Immuno Assays, Nivelles, Bélgica). La concentración mínima detectable del ensayo fue de 2,9 µUI/mL y el coeficiente de variación intra-ensayo fue

7,0% y 6,0% para los controles bajo (18,5 μ UI/mL) y alto (60,7 μ UI/mL), respectivamente. Las concentraciones de IGF-I fueron determinadas con un ensayo inmuno-radiométrico (CisBio International, Gif-sur-Yvette, Francia) descrito previamente para bovinos (Adrien y col., 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.

Las concentraciones de glucosa se determinaron por espectrofotometría con un equipo Vitalab Selectra 2 Autoanalyser (Vital Scientific, Dieren, Holanda), utilizando un kit comercial (BioSystems, Barcelona, España). El coeficiente de variación intra-ensayo para los controles bajo y alto fue menor a 10%.

6.2.3 Pubertad

Cuando los animales llegaron a 200 Kg se comenzó con la determinación de la llegada a pubertad por medio de ultrasonografía transrectal, mediante revisiones semanales individuales hasta la observación de la presencia de cuerpo lúteo en dos mediciones consecutivas según los describe De Trinidad (2014). Para esto se usó un equipo Aloka® 500 (Tokio, Japón), con una sonda de 5 MHz la cual fue adaptada para ser utilizada como transductor rígido. Se tomaron como fecha de entrada a la pubertad el primer día de observación de un cuerpo lúteo.

6.3 Análisis estadístico

Los resultados se analizaron según un diseño de corrales (Kapsy Lamberson, 2007) con el software SAS (versión 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC). Los datos de peso y las mediciones realizadas en sangre se analizaron separadamente para el período de aplicación de tratamientos y el período residual. Se usó un modelo lineal mixto que incluía el efecto del tratamiento, del día de medición (incluido como variable de regresión), de la interacción tratamiento por día de medición, y del corral. El valor medido al momento de ingreso de los animales a los tratamientos se usó como covariable. Los efectos de los tratamientos sobre los coeficientes de regresión de las rectas ajustadas, o sea las ganancias de peso y altura (entre otras) se analizaron usando un test de homogeneidad de pendientes.

El efecto de los tratamientos sobre la proporción de terneras que lleguen a la pubertad se analizó con un modelo de sobrevivencia, usando el PROC GLIMMIX considerando al peso de los animales al inicio del experimento como covariable. Se consideraron diferencias significativas a los valores de $P \leq 0,05$ y tendencias a los valores de $0,05 < P \leq 0,01$. Los resultados se presentan como media \pm EEM.

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 $0,05 < P \leq 0,10$.

7. RESULTADOS

7.1 Evolución del peso

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de peso vivo durante los períodos de aplicación y residual. Durante el período de aplicación, si bien no se observó un efecto del tratamiento sobre el peso vivo de las vaquillonas, se detectó una interacción entre tratamiento y momento de medición. Aunque el peso promedio de los animales en este período fue similar entre tratamientos, las vaquillonas de TALTA fueron más pesadas al final del mismo respecto a las de TMEDIA (154,1 ± 6,2 kg TMEDIA y 177,2 ± 9,7 kg TALTA; P < 0,05). Por otra parte, durante el período residual se observó un efecto del tratamiento sobre el peso promedio de los animales, que fue mayor en TALTA que en TMEDIA.

Tabla 2. Peso vivo y efecto de los tratamientos de vaquillonas Holstein manejadas bajo dos planos de alimentación posdesleche en el período de aplicación de los tratamientos y en el período residual (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).

	TMEDIA	TALTA	EEM	P > F		
				Trat	Día	Trat x día
Período de aplicación						
Peso, kg	119,3	130,7	1,43	0,68	<0,01	<0,01
Período residual						
Peso, kg	213,8	234,1	3,97	0,03	<0,01	0,60

En la Tabla 3 se presentan la ganancia diaria para peso vivo durante los períodos de aplicación y residual. Durante el período de aplicación las vaquillonas TALTA ganaron más peso que las TMEDIA (0,799 vs 0,597 kg/día). Sin embargo, durante el período residual no se observó un efecto de los tratamientos aplicados previamente sobre la ganancia diaria de peso (TMEDIA = 0,788 kg/día y TALTA = 0,761 kg/día), ni una interacción entre el tratamiento y el momento de medición

7.2. Pubertad

La proporción de vaquillonas que llegaron a pubertad en cada uno de los tratamientos se presentan en la Figura 3. El efecto del tratamiento sobre la proporción de vaquillonas que llegaron a pubertad no tuvo diferencia significativa (P = 0,26), pero 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. Con respecto a las vaquillonas TALTA, las vaquillonas TMEDIA alcanzaron la pubertad a una edad similar (314 vs. 337 días; EEM = 11,2; P = 0,15), pero con un peso promedio menor (244 vs 289 kg; EEM = 9,3; P < 0,001).

Tabla 3. Ecuaciones de evolución de peso vivo de vaquillonas Holstein posdeleche en el período de aplicación y residual ($Y = \text{intercepto} + \text{día} \times \beta_1$). Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar para el parámetro de la ecuación (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).

	TMEDIA		TALTA		P > F		
	Intercepto	β_1	Intercepto	β_1	Trat	Día	Trat x día
Período de aplicación							
Peso, kg	82,5 (1,9)	0,597 (0,020)	81,4 (1,4)	0,799 (0,020)	0,68	<0,001	<0,001
Período residual							
Peso, kg	151,8 (3,6)	0,788 (0,036)	174,2 (4,0)	0,761 (0,036)	0,85	<0,001	0,54

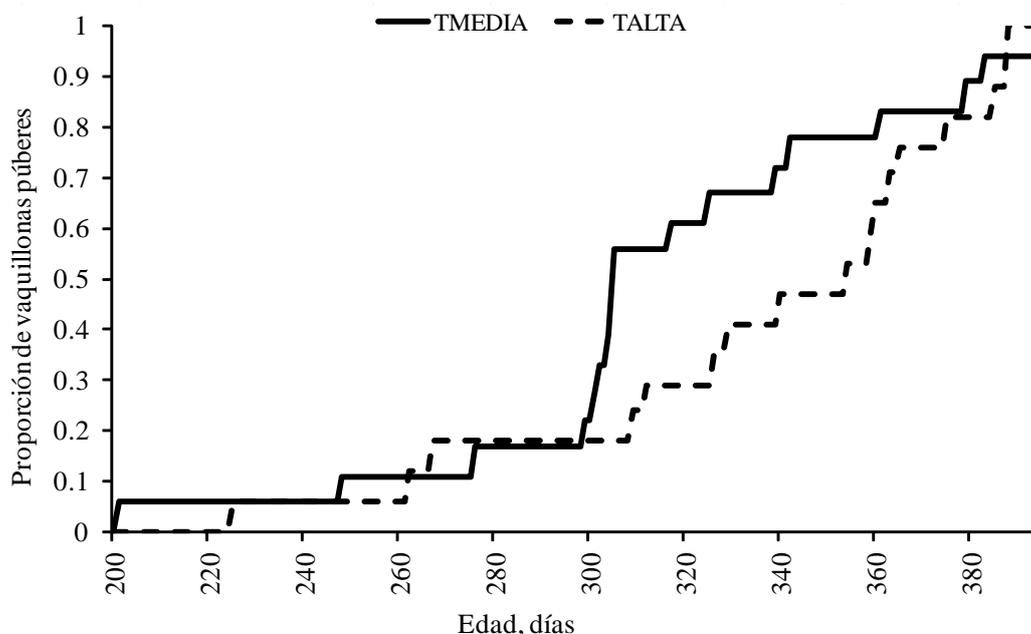


Figura 3. Proporción de vaquillonas púberes según edad en dos grupos de vaquillonas sometidas a diferentes ganancias de peso vivo posdesleche. TMEDIA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 600-700 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de peso de 1000-1100 g/día.

7.3. Glucosa y hormonas en sangre

Los resultados de hormonas metabólicas y glucosa en sangre se presentan en la Tabla 4. Durante el período de aplicación, las vaquillonas TALTA tendieron a presentar mayores concentraciones sanguíneas de IGF-I que TMEDIA, pero no hubo efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de insulina o glucosa ($P \geq 0,05$). A su vez, 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 al día 150 luego del inicio del experimento, pero luego no se detectaron diferencias entre tratamientos (Figura 4).

Tabla 4. Concentraciones sanguíneas de IGF-I, insulina y glucosa de vaquillonas Holstein posdeleche medidas en el período de aplicación o el período residual (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).

	TMEDIA	TALTA	EEM	P > F		
				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

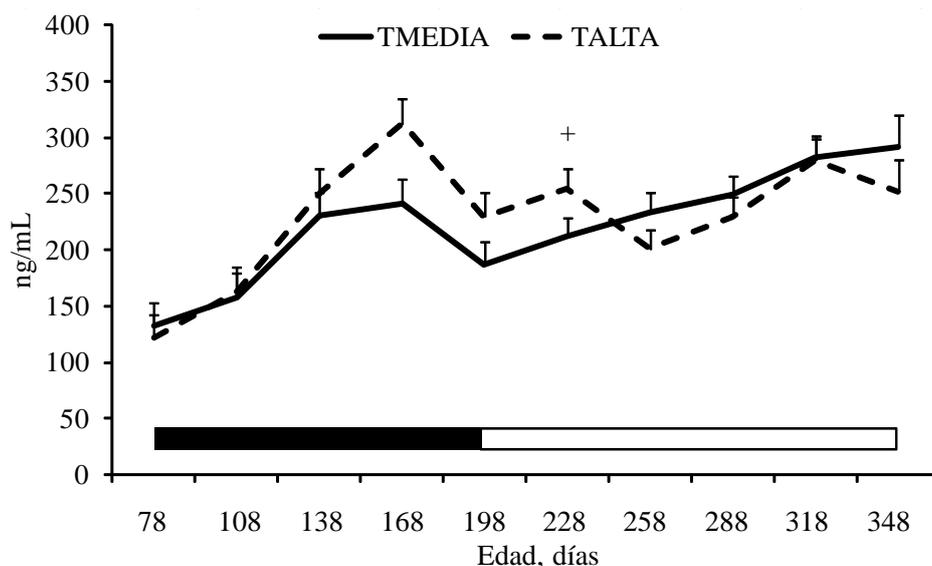


Figura 4. Concentración sanguínea de IGF-I de vaquillonas Holstein posdeleche en el período de aplicación (barra negra) o residual (barra blanca). En el período de aplicación se detectó una tendencia hacia un efecto del tratamiento ($P = 0,08$), y en el período residual se detectó una tendencia hacia 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 600-700 g/día; TALTA = plano de alimentación para lograr una ganancia de 1000-1100 g/día.

8. DISCUSIÓN

Como parte de la hipótesis de esta tesis, se planteó que las terneras con una presentación mayor ganancia de peso vivo luego del desleche debido a un mayor plano de alimentación llegarían antes a la pubertad. Sin embargo, este resultado no fue observado, aunque esos animales tendieron a presentar una mayor concentración de IGF-I durante la aplicación de los tratamientos e inmediatamente luego de finalizados los mismos.

Tras haber concluido el período de aplicación de tratamientos se observó que las ganancias de pesos que se obtuvieron no fueron las que se habían planificado obtener, siendo inferiores. El motivo exacto no está claro, pero pudo haber estado influenciado por el uso de alguno de los ingredientes para la confección de la RTM, particularmente el ensilaje de maíz, como también el período de acostumbramiento a dichos ingredientes. En efecto, Drackley (2008) menciona que tradicionalmente se ha desaconsejado el uso de ensilajes en terneros recién deslechados, aunque aclara que el origen de esta recomendación no está claro. En este sentido, es preciso generar información ya que los ingredientes utilizados son de los más consumidos a nivel de campo.

Las ganancias que se obtuvieron fueron superiores a las descritas por Costa y col (2010), que a través de un relevamiento habían concluido que la ganancia promedio en CR era de 416 gr/día. Esto puede ser debido a que en los CR la dieta de las vaquillonas estaba basada principalmente en campo natural, mientras que la RTM utilizada en este trabajo estaba formulada para cubrir los requerimientos de los principales nutrientes (NRC, 2001).

En el presente estudio, las vaquillonas con mayores niveles de alimentación presentaron mayores ganancias de peso vivo que las de menor nivel de alimentación, lo que concuerda con otros experimentos reportados en la literatura, en cuanto al impacto del nivel de alimentación sobre la ganancia de peso de las vaquillonas. Por ejemplo, Capuco y col. (1995) reportaron diferentes ganancias de peso en vaquillonas sometidas a distintos planos de alimentación entre los días 175 y 344 de vida, donde las vaquillonas que tuvieron una oferta mayor de nutrientes tuvieron una ganancia mayor con respecto a vaquillonas que se les ofreció una proporción menor de nutrientes. Del mismo modo, Lacasse y col. (1994) alimentaron a terneras con diferentes niveles de energía y observaron que aquellas alimentadas con mayor cantidad de energía tuvieron una mayor ganancia de peso.

La concentración de la IGF-I obtenida en el período de aplicación en las vaquillonas TALTA tendió a ser superior a la concentración obtenida en las vaquillonas de TMEDIA, lo que coincide con lo que hallaron otros investigadores como Lammers y col. (1999), Chelikani y col. (2009) y Rosadiuk y col. (2020), que también trabajaron con vaquillonas pre-púberes y fueron alimentadas con distintos planos de alimentación. 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 se ha visto 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-I (Lammers y col., 1999).

A su vez, la IGF-I 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. La mayor secreción hepática de IGF-I debida al mayor consumo de nutrientes en TALTA explicaría el mayor crecimiento en este tratamiento respecto a TMEDIA.

Al igual que en el estudio de Chelikani y col. (2009), en este estudio se observó que los niveles de IGF-I tendieron a igualarse una vez que los grupos fueron alimentados de igual manera (Chelikani y col., 2009). Esto sugeriría que el consumo de los animales en el período residual fue, en efecto, similar entre ambos tratamientos.

Los tratamientos no mostraron una variación en las concentraciones de glucosa en sangre, lo que no concuerda con lo reportado por otros autores como Yelich y col. (1996) y Rosadiuk y col. (2020), quienes sí evidenciaron una mayor concentración de glucosa en vaquillonas sometidas a un plano de nutrición alto respecto a un plano de nutrición bajo.

Diversos investigadores reportaron que la concentración de insulina varía en vaquillonas cuando son alimentadas con diferentes planos de alimentación (Capuco y col., 1995; Chelikani y col., 2009; Rosadiuk y col., 2020). La falta de efecto sobre la concentración de insulina observada en nuestro trabajo quizás se habría debido a que la concentración de glucosa tampoco se vio alterada por los tratamientos, ya que la secreción de insulina pancreática está directamente ligada a la concentración sanguínea de glucosa (Relling y Mattioli, 2003). Sin embargo, los datos obtenidos en el presente trabajo coinciden con lo reportado por Carson y col. (2000), quienes ofrecieron 2 planos de nutrición diferentes a vaquillonas prepúberes para obtener ganancias diarias de peso diferentes, pero no reportaron diferencias en la concentración de insulina. Las divergencias entre estudios respecto al impacto de los diferentes tratamientos sobre esta variable podrían adjudicarse a los diferentes nutrientes utilizados para la formulación de las dietas en los experimentos, o a las diferencias en el aporte de nutrientes entre los distintos planos de alimentación. Esto último se evidencia en el trabajo de Capuco y col. (1995) en donde se observan diferentes ganancias de peso, no solo en tratamientos donde se utiliza la misma dieta, pero en diferente cantidad, sino que también se observan diferencias cuando se utiliza el mismo aporte de nutrientes pero utilizando diferentes dietas.

En el presente trabajo no se observó una diferencia en la proporción de vaquillonas que llegaron a la pubertad al finalizar el ensayo, pero sí hubo una diferencia en la velocidad y en el peso con que lo hicieron. La mayor velocidad y el menor peso promedio al inicio de la pubertad en las vaquillonas de TMEDIA con respecto a las vaquillonas de TALTA difiere con lo reportado por otros investigadores. Por ejemplo, algunos autores mencionan que vaquillonas prepúberes alimentadas con planos altos de nutrición llegan antes a la pubertad con respecto a animales alimentados con planos bajos (Petitclerc y col., 1983; Chelikani y col., 2003; Davis y col., 2011).

Según resultados obtenidos en otros trabajos similares, hubiera sido esperado tener como resultado que las vaquillonas de TALTA llegasen antes a la pubertad que las de TMEDIA. No está claro porque en el presente trabajo se obtuvo un resultado opuesto. Posibles explicaciones pueden estar dadas por que en otros trabajos el período de aplicación fue más prolongado, o porque se realizó más cercano a la entrada a la

pubertad (Lammers y col., 1999), lo que hubiese provocado un impacto en las señales metabólicas de mayor intensidad con respecto al presente trabajo.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el presente trabajo no apoyarían la teoría del peso crítico como disparador del inicio de la pubertad en bovinos, lo cual ha sido propuesto por otros autores (Foster y Nagatani, 1999). Asumiendo un peso adulto del ganado lechero del tambo de INIA “La Estanzuela” de 600 kg, en esta tesis las terneras TMEDIA alcanzaron la pubertad con el 40,7% del peso adulto, y las TALTA lo hicieron con el 48,2%. Estos valores se encuentran dentro del rango reportado por Soutto y Ubilla (2015) para terneras en este mismo tambo, que participaron de un estudio anterior. Aunque distintos investigadores afirman que la nutrición juega un papel fundamental en el desarrollo sexual de los bovinos, los mecanismos específicos no están del todo claro (Schillo, 2011). Algunos investigadores han trabajado sobre las hipótesis de que 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 entrada a la pubertad (Rosadiuk y col., 2020). La entrada temprana a la pubertad estaría dada por una mayor concentración de IGF-I, como fuera reportado por De Trinidad (2014) trabajando con terneras lactantes, y por Lammers y Heinrichs (2000) con terneras post desleche. Danilovich y col. (1999) trabajaron con ratones genéticamente modificados que no expresaban el receptor hepático de somatotrofina, los que presentaron menores concentraciones sanguíneas de IGF-I y llegaron más tarde a la pubertad que ratones normales. Sin embargo, cuando se les introdujo directamente IGF-I en el cerebro de los ratones modificados se adelantó la pubertad, lo que sugeriría que esta hormona podría ser una de las señales endócrinas que permitiría la entrada a dicha etapa.

Como lo señaló Chelikani y col (2009), la falta de efecto residual post tratamiento en la concentración sanguínea de IGF-I (principal factor que mediaría en la llegada a la pubertad), la cual luego de haber terminado el período de aplicación las concentraciones de IGF-I se igualaron, podría explicar en parte el efecto de que las vaquillonas de TALTA no llegasen a la pubertad antes. 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. También puede ser que las vaquillonas de TMEDIA al pasar a un plano de alimentación más favorable en el período residual hayan sufrido condiciones metabólicas más favorables con respecto a las vaquillonas de TALTA. Quizás se requiera más 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.

En el período residual los dos grupos fueron manejados como un único lote lo cual implicó que tuvieran la misma oferta de alimento, por lo que el consumo de alimento y el aporte de precursores para sostener el crecimiento corporal también habrían sido similares entre tratamientos. Son escasos los trabajos que reportan los efectos residuales que se obtienen luego de suministrar distintos planos de alimentación sobre el crecimiento y desarrollo de los animales. Lammers y col. (1999) reportaron que vaquillonas alimentadas con plano alto de alimentación entre las semanas 19 y 39 obtuvieron una mayor ganancia de peso que las vaquillonas manejadas con un plano de alimentación menor, pero estas últimas, luego del período de aplicación de los

tratamientos, ganaron más entre la semana 39 hasta el momento al parto, lo que reflejaría un crecimiento compensatorio en esos animales.

Es sabido que animales que sufrieron una restricción de alimento pueden compensar esa menor ganancia de peso creciendo a tasas más aceleradas cuando se les ofrece mayor cantidad de comida (Ford y Park, 2001). En este estudio no se observó ese fenómeno, quizás porque la restricción a la que fueron sometidas las vaquillonas de TMEDIA no fue de tal magnitud para expresar esa ganancia compensatoria característica. A pesar de que no se observó una ganancia compensatoria para las vaquillonas de TMEDIA, se observó un incremento de ganancia de peso de 191 gr/día en el período residual. Mientras que para las vaquillonas de TALTA se observó una disminución de 38 gr/día en la ganancia de peso en el mismo período. Por lo tanto, las vaquillonas de TALTA al disminuir la ganancia de peso en el período residual pudieron estar en condiciones metabólicas menos favorables que las vaquillonas de TMEDIA para entrar a la pubertad. En el mismo sentido, Barash y col. (1994) observaron que vaquillonas Holstein sometidas a un crecimiento compensatorio llegaron a la pubertad un mes antes que vaquillonas que mantuvieron una ganancia de peso constante en el período post-desleche. Estos resultados podrían contribuir a explicar la llegada más rápida a la pubertad observada en las vaquillonas TMEDIA.

9. CONCLUSIONES

Un aumento en el plano de alimentación durante el período post-desleche permitió aumentar la ganancia de peso de vaquillonas, pero este efecto no persistió una vez finalizado el manejo diferencial. Del mismo modo, la mayor concentración sanguínea de IGF-I en las vaquillonas con mayor ganancia de peso solo se sostuvo en el período inmediato luego de la finalización de los tratamientos. Aunque la proporción de vaquillonas que llegaron a la pubertad no fue afectada por los tratamientos, las vaquillonas manejadas con un plano de alimentación inferior entraron a la pubertad a una tasa de velocidad más rápida, y con menor peso promedio que las vaquillonas manejadas con un plano de alimentación más alto en el período post-desleche.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abi Salloum, B.; Claus, R. (2005) Interaction between lactation, photoperiodism and male effect in German Merino ewes. *Theriogenology*; 63(8):2181-2193.
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. 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.
4. Berra, G. (2005) Buenas prácticas en la crianza y recría de vaquillonas en el tambo. XXXIII Jornadas Uruguayas de Buiatría. Paysandú, Uruguay, 87p.
5. Byerley, D. J.; Staigmiller, R. B.; Berardinelli, J. G.; & Short, R. E. (1987) Pregnancy rates of beef heifers bred either on puberal or third estrus. *J Anim Sci*; 65:645-650.
6. Capuco, A. V.; Smith, J. J.; Waldo, D. R.; Rexroad, C. E. (1995) Influence of prepubertal dietary regimen on mammary growth of Holstein heifers. *J Dairy Sci*; 78:2709-2725.
7. Cárcano, D. (2011) Desleche anticipado de terneras. *Producir XXI*. Bs. As., 19:44-48.
http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/cria_artificial/19-desleche_anticipado.pdf. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2020.
8. Carson, A. F.; Wylie, A. R. G.; McEvoy, J. D. G.; McCoy, M.; Dawson, L. E. R. (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.
9. Chelikani, P. K.; Ambrose, J. D.; Kennelly, J. 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.
10. Chelikani, P. K.; Ambrose, D. J.; Keisler, D. H.; Kennelly, J. 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.
11. Clarke, I. J.; Arbabi, L. (2016) New concepts of the central control of reproduction, integrating influence of stress, metabolic state, and season. *Domest Anim Endocrin*; 56:S165-S179.

12. 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 Uruguay*; 14:66-76.
13. Davis L. E.; VandeHaar, M. J.; Wolf, C. A.; Liesman, J. S.; Chapin, L. T.; Nielsen, M. W. (2011) Effect of intensified feeding of heifer calves on growth, pubertal age, calving age, milk yield, and economics. *J Dairy Sci*; 94:3554-3567.
14. Danilovich, N.; Wernsing, D.; Coschigano, K. T.; Kopchick, J. J.; Bartke, A. (1999) Deficits in female reproductive function in GH-R-KO mice; role of IGF-I. *Endocrinology*; 140: 2637-2640.
15. Day, M. L.; Nogueira, G. P. (2013) Management of age at puberty in beef heifers to optimize efficiency of beef production. *Anim Front*; 3:6-11.
16. Day, M. L.; Anderson, L. H. (1998) Current concepts on the control of puberty in cattle. *J Anim Sci*; 76:1-15.
17. Day, M. L.; Imakawa, K.; Garcia-Winder, M.; Zalesky, D. D.; Schanbacher, B. D.; Kittok, R. J.; Kinder, J. E. (1984) Endocrine mechanisms of puberty in heifers: estradiol negative feedback regulation of luteinizing hormone secretion. *Biol Reprod*; 31:332-341.
18. 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.
19. Delgadillo, J. A.; Gelez, H.; Ungerfeld, R.; Hawken, P. A.; Martin, G. B. (2009) The 'male effect' in sheep and goats—revisiting the dogmas. *Behav Brain Res*; 200:304-314.
20. Delgado, P. A. M.; Cuéllar, N. R.; Sánchez, C. M. G.; Rojas, E. C. C. (2011) Dinámica folicular en la vida reproductiva de la hembra bovina. *Vet Zootec*; 5:88-99.
21. DIEA. (2020) Anuario Estadístico Agropecuario 2020, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP). Disponible en: <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2020/ANUARIO2020.pdf>. Fecha de consulta: 06 de diciembre de 2020.
22. Drackley, J. K. (2008) Calf nutrition from birth to breeding. *Vet Clin N Am-Food A*; 24:55-86.
23. Evans, A. C. O.; Adams, G. P.; Rawling, N. C. (1994) Follicular and hormonal development in prepubertal heifers from 2 to 36 weeks of age. *Reproduction*; 102:463-470.
24. Ford, J. A.; Park, C. S. (2001) Nutritionally directed compensatory growth enhances heifer development and lactation potential. *J Dairy Sci*; 84:1669-1678.

25. Foster, D. L.; Nagatani, S. (1999) Physiological perspectives on leptin as a regulator of reproduction: role in timing puberty. *Biol Reprod*; 60: 205-215.
26. Heinrichs, A. J. (1993) Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *J Dairy Sci*; 76:3179-3187.
27. Hoffman, P. C.; Funk, D. A. (1992) Applied dynamics of dairy replacement growth and management. *J Dairy Sci*; 75:2504-2516.
28. Instituto Nacional de Mejoramiento Lechero. (2013) Disponible en <http://mu.org.uy/wp-content/uploads/2015/01/vacaprom2008-12.pdf>. Fecha de consulta: 06 de diciembre de 2020.
29. Kaps, M.; Lamberson, W.R. (2007) *Biostatistics for animal science*. Ed. CABI Publishing. Wallingford, UK.
30. Kinder, J. E.; Day, M. L.; Kittok, R. J. (1987) Endocrine regulation of puberty in cows and ewes. *J Reprod Fertil Suppl*; 34:167-186.
31. Lacasse, P.; Block, E.; Petitclerc, D. (1994) Effect of plane of nutrition before and during gestation on the concentration of hormones in dairy heifers. *J Dairy Sci*; 77:439-445.
32. Lammers, B. P.; Heinrichs, A. J.; Kensinger, 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. *J Dairy Sci*; 82:1753-1764.
33. Lammers, B. P.; Heinrichs, A. J. (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.
34. 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.
35. Macdonald, K. A.; Penno, J. W.; Bryant, A. M.; Roche, J. R. (2005) Effect of feeding level pre-and post-puberty and body weight at first calving on growth, milk production, and fertility in grazing dairy cows. *J Dairy Sci*; 88:3363-3375.
36. Mendoza, A. (2007) El corral como alternativa para la recría de tambo. En: *Curso de Educación Permanente "Engorde a corral-Feedlot"*. Facultad de Veterinaria, UdelaR, pp. 40-53.
37. Mendoza, A.; Acosta, Y.; Morales, T.; Roman, L.; Pla, M.; La Manna, A. (2014) Manejo de la recría en los tambos: Aportes desde INIA. *Revista INIA Uruguay*; 37:32-35.
38. NRC. National Research Council. (2001) *Nutrient requirements of dairy cattle*. Ed. National Academy Press. 7ª ed. Washington.

39. Perry, G. A. (2012) Harnessing basic knowledge of factors controlling puberty to improve synchronization of estrus and fertility in heifers. *J Anim Sci*; 90:1172-1182.
40. Petitclerc, D.; Chapin, L. T.; Emery, R. S.; Tucker, H. A. (1983) Body growth, growth hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *J Anim Sci*; 57:892-898.
41. Repetto, J. L.; Mendoza, A.; Antúnez Tort, G.; Cajarville, C. (2016) Nuevos paradigmas en la cría y recría de hembras lecheras. XLIV Jornadas Uruguayas de Buiatría. Paysandú, Uruguay, 34-41
42. Relling, A. E.; Mattioli, G. A. (2003) Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Argentina: UNLP Editorial Edulp, 23-55.
43. Rosadiuk, J. P.; Bruinjé, T. C.; Moslemipur, F.; Fischer-Tlustos, A. J.; Renaud, D. L.; Ambrose, D. J.; Steele, M. A. (2020) Differing planes of pre-and postweaning phase nutrition in Holstein heifers: I. Effects on feed intake, growth efficiency, and metabolic and development indicators. *J Dairy Sci*; 104:1136-1152.
44. Schillo, K. K.; Dierschke, D. J.; Hauser, E. R. (1982) Regulation of luteinizing hormone secretion in prepubertal heifers: increased threshold to negative feedback action of estradiol. *J Anim Sci*; 54:325-336.
45. Schillo K. (2011) Puberty. En: Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2ª edición, Academic Press, pp.421-427.
46. Seidel, G. E.; Larson, L. L.; Foote, R. H. (1971) Effects of age and gonadotropin treatment on superovulation in the calf. *J Anim Sci*; 33: 617-622.
47. Sejrsen, K.; Purup, S. (1997) Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers: a review. *J Anim Sci*; 75:828-835.
48. 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. *Domest Anim Endocrin*; 19:93-104.
49. 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.
50. Soutto, J.; Ubilla, D. (2015). Efectos del manejo diferencial de la alimentación de terneras Holstein en la etapa lactante sobre la llegada a la pubertad. Tesis de grado. Facultad de Veterinaria, Universidad de la República. Uruguay. 31 p.
51. Ungerfeld, R. (2002) Reproducción en los Animales Domésticos (Tomo I). En: Ediciones Melibea, Primera Edición. Montevideo, Uruguay, pp. 19-72.

52. Waldo, D. R.; Capuco, A. V.; Rexroad Jr, C. E. (1988) Growing dairy heifers for optimum milk production. Proc. 3rd Southwest Nutr. Manage. Committee, 30.
53. Wathes, D. C.; Pollott, G. E.; Johnson, K. F.; Richardson, H.; Cooke, J. S. (2014) Heifer fertility and carry over consequences for life time production in dairy and beef cattle. *Animal*; 8:91-104.
54. Yelich, J. V.; Wettemann, R. P.; Marston, T. T.; Spicer, L. J. (1996) Luteinizing hormone, growth hormone, insulin-like growth factor-I, insulin and metabolites before puberty in heifers fed to gain at two rates. *Domest Anim Endocrinol*; 13:325-338.
55. Zanton, G. I.; Heinrichs, A. J. (2009) Limit-feeding with altered forage-to-concentrate levels in dairy heifer diets. *Prof Anim Sci*; 25:393-403.