

NUTRICIÓN EN LAS PRIMERAS ETAPAS DE LA VIDA Y SUS EFECTOS EN LA NOVILLA EN DESARROLLO: CRECIMIENTO, INGESTAS NUTRITIVAS Y METABOLISMO

INTRODUCCIÓN

Optimizar la tasa de crecimiento de las novillas (vacas hembras que aún no han parido) ofrece la oportunidad de mejorar la producción y la resiliencia de por vida de las vacas lecheras. Una vaca más resiliente sufrirá menos enfermedades metabólicas o asociadas a patógenos, producirá consistentemente altos niveles de leche y vivirá más tiempo en el rebaño. Mejorar la producción de por vida por vaca puede aumentar la rentabilidad económica de las empresas al tiempo que reduce el impacto ambiental de la industria (De Vries, 2017; Grandl et al., 2019). El crecimiento óptimo de las novillas se define a través de pesos objetivo que establecen el peso ideal de una novilla en varias etapas de su desarrollo para maximizar su productividad y longevidad. El peso objetivo de la industria australiana para las novillas lecheras es el 85% del peso vivo maduro al primer parto (Dairy Australia, 2020), con la presunción de que las novillas más grandes al parto son más productivas a lo largo de su vida (Macdonald et al., 2005; Dairy Australia, 2020). La idoneidad de las estrategias de crianza y los objetivos de crecimiento intermitentes para las novillas lecheras de reemplazo en Australia no está clara. Aunque se sabe que un peso objetivo ideal del 85% del peso vivo maduro al parto aumenta la productividad y la longevidad dentro del rebaño, no se especifica la mejor manera de lograr este punto final. Investigaciones recientes se han centrado en la alimentación acelerada con leche de las novillas en la fase anterior al destete, pero se ha dedicado poco esfuerzo más allá del destete, particularmente en combinación con la fase de crecimiento posterior al destete. Además, existe una comprensión limitada de los efectos o consecuencias fisiológicas continuas de la fase de crecimiento acelerado en el crecimiento y la resiliencia futuros. El crecimiento compensatorio es un fenómeno que se observa a menudo en rumiantes después de períodos de restricción alimenticia (Owens et al., 1993). Sin embargo, no se comprende si esta compensación influye en el desarrollo de mecanismos fisiológicos, incluida la inmunidad y el metabolismo, así como el peso corporal (PC).

En la fase anterior al destete, el ternero hace la transición a un rumiante funcional. Antes de esta transición, la energía se suministra principalmente en forma de glucosa y ácidos grasos en la leche.

A medida que el rumen se desarrolla y la fermentación ruminal comienza a dominar, el suministro de energía cambia a AGV (Quigley et al., 1991; Baldwin et al., 2004; Khan et al., 2011b). Durante la fase anterior al destete, se han utilizado altas concentraciones de BHB en estudios nutricionales de terneros como un indicador indirecto del consumo de concentrado y el desarrollo ruminal (Khan et al., 2011a; Byrne et al., 2017).

En adultos, además del BHB, el ácido graso no esterificado (AGNE) también se utiliza como indicador de la movilización de las reservas corporales y el equilibrio energético en

respuesta a las altas demandas energéticas de la lactancia (Taylor et al., 2003; Chandler et al., 2018; Tessari et al., 2020). Se han reportado concentraciones más altas de IGF-1 con un aumento de la GMD y la ingesta de EM, y se han asociado positivamente con tasas de crecimiento avanzadas y el desarrollo de órganos en terneros (Vicari et al., 2008; Rosadiuk et al., 2021; Wilms et al., 2022).

Durante la lactancia, se dice que la concentración de IGF-1 disminuye durante períodos prolongados de déficit energético (McGuire et al., 1995), y las concentraciones bajas también se han asociado con efectos perjudiciales sobre la fertilidad (Taylor et al., 2003).

Los estudios también han investigado la partición de nutrientes que conduce a la selección de vacas con características genéticas óptimas de partición para la producción de leche (Oltenuacu y Broom, 2010). Sin embargo, los factores ambientales, como la nutrición anterior al destete, también resultan en cambios permanentes en la función metabólica (Opsomer et al., 2016), pero los mecanismos y la preservación a largo plazo de estos cambios no se han investigado completamente.

Este experimento examinó los efectos de 4 trayectorias de crecimiento en las primeras etapas de la vida sobre el crecimiento y las características metabólicas de las novillas lecheras Holstein-Friesian de reemplazo como sustituto de la resiliencia futura. Los biomarcadores metabólicos seleccionados son metabolitos que se utilizan con frecuencia en la literatura para examinar el estado metabólico actual de las vacas y los terneros lecheros. El diseño del tratamiento posterior al destete se basó en la estrategia actual de crianza de novillas en Australia, con objetivos de PC fijos establecidos para lograr un PC predestete predeterminado.

Es uno de los pocos estudios de desarrollo a largo plazo en vacas lecheras con un enfoque en una combinación de estrategias de crianza variables antes y después del destete. Esto nos permitirá no solo establecer cualquier beneficio potencial sobre la resiliencia de alimentar con más leche a los terneros en la fase anterior al destete, sino también evaluar los beneficios de variar las tasas de crecimiento en la fase posterior al destete, en particular si un crecimiento posterior al destete más rápido puede superar cualquier efecto negativo potencial sobre la resiliencia de alimentar con menos leche en la fase anterior al destete. Las hipótesis probadas fueron (1) que en la fase anterior al destete, las novillas que reciben una alta asignación de leche tendrán mayores tasas de crecimiento que las novillas que reciben una baja asignación de leche hasta el destete; y (2) que las novillas que reciben una alta asignación de leche antes del destete tendrán características metabólicas fisiológicamente superiores que las novillas que reciben una baja asignación de leche antes del destete hasta los 13 meses de edad, independientemente de la tasa de crecimiento posterior al destete.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fase anterior al destete de este experimento se llevó a cabo en el Centro de Investigación Lechera de Agriculture Victoria, Ellinbank, Victoria, Australia (38°14'S, 145°56'E), en colaboración con la Universidad de Melbourne, desde julio hasta octubre de 2021 (primavera australiana). Después del destete, las novillas fueron transportadas a la propiedad del contratista de crianza de novillas del Centro de Investigación Lechera de Agriculture Victoria, ubicada a 20 km de distancia, para el resto del experimento. La aprobación para proceder fue otorgada por el Comité de Ética Animal de Investigación y Extensión Agrícola, número de solicitud 2021-08. Los procedimientos experimentales se

llevaron a cabo de acuerdo con el Código Australiano de Prácticas para el Cuidado y Uso de Animales con Fines Científicos (Consejo Nacional de Investigación Médica y de la Salud, 2013).

Diseño Experimental y Tratamientos

Un total de 80 novillas Holstein-Friesian de reemplazo nacidas en primavera fueron inscritas al nacer y permanecieron bajo condiciones experimentales hasta aproximadamente los 20 meses de edad. Las novillas fueron asignadas aleatoriamente a 1 de 4 tratamientos al nacer (los títulos de los tratamientos significan el tratamiento anterior al destete y la tasa de crecimiento posterior al destete, respectivamente):

- * Alto–alto (AA)
- * Alto–bajo (AB)
- * Bajo–alto (BA)
- * Bajo–bajo (BB)

Los tratamientos se equilibraron según el peso al nacer de las novillas, la paridad de la madre y el Índice de Rendimiento Equilibrado (IRE; índice nacional de selección de Australia) estimado. Todos los IRE se calcularon antes del nacimiento utilizando el promedio del IRE de los padres. A medida que los tratamientos se acercaban a la asignación completa, se verificaron estos parámetros para garantizar que permanecieran equilibrados. En cualquier caso en que no estuvieran equilibrados entre los tratamientos, se anuló la aleatorización. Los terneros se separaron en 4 grupos por fecha de nacimiento (es decir, los primeros 20 terneros se asignaron al grupo 1, los siguientes 20 terneros nacidos se asignaron al grupo 2, y así sucesivamente). Cada grupo se alojó en un corral separado y siguió su propia línea de tiempo, con 5 terneros de cada tratamiento por grupo o corral; por lo tanto, el corral fue un factor de bloqueo y el diseño del experimento fue un diseño de bloques completos aleatorizados.

Durante la fase anterior al destete, las 80 novillas asignadas se sometieron a 1 de 2 tratamientos nutricionales:

- * Tratamiento alto antes del destete (AA y AB): asignación diaria de 8 L de leche (40 novillas).
- * Tratamiento bajo antes del destete (BA y BB): asignación diaria de 4 L de leche (40 novillas).

Al destete, las estrategias predeterminadas posteriores al destete se distribuyeron uniformemente dentro de cada uno de los tratamientos anteriores al destete, dando lugar a los 4 tratamientos experimentales de 20 novillas. Las novillas siguieron una tasa de crecimiento alta o baja después del destete. El diseño del tratamiento posterior al destete se basó en las estrategias actuales de crianza de novillas en Australia y se definió mediante pesos objetivo establecidos. Los pesos objetivo se aplicaron según el promedio del grupo. Las novillas siguieron 4 trayectorias de crecimiento hacia 1 de 2 pesos finales antes del parto. Los pesos objetivo se basaron en los datos históricos del hato lechero de la Estación Experimental de Ellinbank y el rango de peso ideal del 85% del peso vivo maduro al primer parto. Los pesos objetivo antes del parto fueron los siguientes:

- * Tasa de crecimiento alta después del destete (AA y BA): 600 kg.
- * Tasa de crecimiento baja después del destete (AB y BB): 530 kg.

Para lograr esto en los primeros 9 meses después del destete, el grupo BA creció a una tasa más rápida para alcanzar al grupo AA, y el crecimiento del grupo AB se restringió para alcanzar el peso corporal promedio más bajo del grupo BB. Las novillas completaron el experimento a los 20 meses de edad.

Manejo Animal

Al nacer, cada novilla fue equipada con una etiqueta de identificación individual en la oreja como parte de la práctica normal de la granja. Estas etiquetas también permitieron la identificación de cada ternera dentro del sistema de alimentación automática.

Las novillas se alojaron en grupo dentro de cuatro corrales (20 novillas por corral). Cada uno de los 4 corrales contenía un número igual ($n = 5$) de novillas asignadas a cada uno de los 4 tratamientos. Los corrales se llenaron secuencialmente por fecha de nacimiento para permitir la agrupación apropiada por edad. Las novillas fueron separadas de sus madres y recibieron 4 L de calostro fresco mezclado con un índice Brix $>22\%$ dentro de las 8 horas posteriores al nacimiento. Antes de la inscripción, entre las 24 y 48 horas posteriores al nacimiento, se confirmó la transferencia pasiva exitosa de inmunidad utilizando métodos de refractómetro Brix en suero sanguíneo (de Souza et al., 2021).

Después de la alimentación inicial con calostro, las primeras 4 tomas de leche que recibieron todas las novillas fueron 2 L de leche de transición (leche del segundo al cuarto ordeño después del nacimiento) a través de biberones individuales dentro de corrales de crianza (hasta 5 novillas por corral).

Luego, las novillas fueron trasladadas a la instalación experimental de crianza de terneros, donde se les alimentó con leche entera comercializable a través de alimentadores automáticos para terneros (Lely Calm; Lely Australia, Truganina, Victoria, Australia) de acuerdo con su asignación de tratamiento. Las novillas del grupo de tratamiento alto se acostumbraron gradualmente al mayor volumen de leche, limitando la leche a 6 L el primer día y luego a 8 L diarios. El tamaño de la toma de leche se limitó a 2 L por alimentación con un intervalo definido de 2 horas entre las tomas para ambos grupos de tratamiento para evitar el consumo excesivo. El software del alimentador automático registró la ingesta diaria individual de leche para cada ternero.

A todas las novillas se les permitió hasta 3 kg diarios de un concentrado comercial para terneros (Reid Stockfeeds–Gippsland, Trafalgar, Victoria, Australia) a través de alimentadores automáticos de concentrado para terneros (Lely Calm; Lely Australia, Truganina, Victoria, Australia). El software del alimentador registró la ingesta diaria individual de concentrado. Se dispuso de agua y heno de alfalfa (*Medicago sativa*) a voluntad dentro de cada corral. La ingesta de agua y heno no se registró para este experimento.

Las novillas se pesaron utilizando básculas electrónicas entre las 24 y 48 horas de edad, lo que representó el peso corporal al nacer. Las mediciones de peso corporal se tomaron semanalmente hasta el destete. Las novillas fueron destetadas durante 10 días a partir de las 10 semanas de edad. Los alimentadores automáticos se programaron para reducir la asignación de leche en un 10% diario durante 10 días, quedando 1 L en el último día. Una vez completado el destete, las novillas entraron en la fase posterior al destete del experimento.

En la fase posterior al destete, las novillas se manejaron como un solo hato. Todas las novillas tuvieron acceso a pastoreo como la mayor parte de la dieta. En los casos en que el pasto era limitado (debido a la disponibilidad estacional), se suministró ensilaje de pasto en el potrero. Además, las novillas también tuvieron acceso a un concentrado comercial (Reids Stockfeeds, Destete de Terneros hasta los 12 meses de edad, luego Mezcla para Añojos a partir de los 12 meses) a través de un alimentador automático de concentrado en el potrero (Velos Cow Feeding Station, Nedap N.V. Livestock Management, Groenlo, Países Bajos). El software del alimentador registró la ingesta diaria individual. Las raciones individuales de concentrado se ajustaron después de cada pesaje para garantizar que las trayectorias de crecimiento del tratamiento se mantuvieran en el objetivo. El pastoreo se restringió para todas las novillas en los casos en que cualquier grupo de tratamiento excediera los pesos objetivo del tratamiento, utilizando métodos de pastoreo en franjas. Las novillas se pesaron en básculas electrónicas

quincenalmente durante los primeros 6 meses en pastoreo y luego mensualmente durante el resto del experimento.

Mediciones Nutricionales

Durante la fase anterior al destete, se recolectó quincenalmente una muestra representativa de leche de aproximadamente 20 ml y se envió a un laboratorio comercial (HICO Laboratories, Korumburra, Victoria, Australia). Las muestras se analizaron para determinar las concentraciones de grasa, proteína y lactosa. La concentración nutritiva media de la leche entera suministrada a las novillas durante el período anterior al destete fue de $3.4 \pm 0.44\%$ (media \pm DE) de grasa, $3.3 \pm 0.21\%$ de proteína y $4.8 \pm 0.12\%$ de lactosa.

Durante la fase anterior al destete, se tomaron muestras representativas de concentrado y heno cada quince días. En la fase posterior al destete, se recolectaron mensualmente muestras representativas de concentrado, ensilaje y pasto. Las muestras de pasto se lavaron inicialmente y luego se dejaron secar a 4°C durante 2 horas antes del procesamiento. Para el procesamiento, la mitad de todas las muestras se secaron a 105°C durante 48 horas para determinar el porcentaje de MS. La mitad restante se secó en horno a 60°C durante 48 horas antes de ser molida a través de un tamiz de 1 mm y enviada a un laboratorio comercial para análisis químico húmedo (Dairy One Forage Laboratory, Ithaca, NY; Dairy One, 2023). Las características nutritivas se presentan en la Tabla 1.

Recolección de Sangre y Análisis de Biomarcadores

A las 6 semanas, 8 meses y 13 meses de edad, se tomaron muestras de sangre de cada novilla para determinar la concentración de biomarcadores metabólicos. En la fase anterior al destete, se restringió el acceso a los alimentadores de leche y concentrado durante 2 horas antes de la toma de muestras de sangre. No se implementó ningún ayuno para las muestras de sangre posteriores al destete. Las muestras de sangre se recolectaron en tubos evacuados que contenían heparina de litio, EDTA o fluoruro/oxalato, así como en tubos evacuados simples. Los tubos con heparina de litio, EDTA y fluoruro/oxalato se almacenaron en hielo antes de la centrifugación a $1,578 \times g$ durante 15 minutos a 4°C. Los tubos evacuados simples se incubaron a 24°C durante 2 horas antes de la centrifugación a $1,258 \times g$ durante 15 minutos a 24°C. Las muestras de plasma y suero se almacenaron luego a -20°C antes de los análisis.

Los análisis de biomarcadores metabólicos incluyeron BHB, AGNE, glucosa, insulina y factor de crecimiento similar a la insulina-1 (IGF-1). Los ensayos de BHB, AGNE y glucosa se realizaron utilizando reactivos, controles y calibradores de Catechem Inc. según las instrucciones del fabricante, en un analizador automatizado ChemWell 2910 en los laboratorios AgriBio (Bundoora, Victoria, Australia). Los ensayos de insulina e IGF-1 se desarrollaron y llevaron a cabo en el Assay Centre, School of Agriculture, Food and Ecosystems Sciences, de la Universidad de Melbourne, Parkville, Australia. Las concentraciones de insulina se midieron mediante un radioinmunoensayo (RIA) homólogo de doble anticuerpo. El RIA se realizó utilizando un antiserio de insulina purificado producido en cobayas (Antibodies Australian) e insulina bovina purificada para yodación y estándar (Sigma-Aldrich, cat. no. I5500). Los métodos de ensayo completos se pueden encontrar en Ockenden et al. (2023).

La concentración de IGF-1 en plasma bovino se midió después de la extracción de la muestra en un RIA homólogo de doble anticuerpo. El RIA se realizó utilizando un antiserio

de IGF-1 humano producido en conejo (Programa Nacional de Hormonas y Péptidos [NHPP] AFP4892898) e IGF-1 humano para yodación y estándar (GroPep, IGF-1 humano, grado receptor). Para extraer la muestra, se añadieron 200 µL de solución de extracción ácido/etanol (HCl 0.25 M en etanol al 100%) a 50 µL de muestra, se vortexeó y luego se incubó a temperatura ambiente durante 30 minutos. Después de la incubación, la muestra se centrifugó a 10,000 × g durante 20 minutos a 4°C y se recogió el sobrenadante, al que se añadieron 100 µL de Tris 0.885 M. Después de mezclar, la muestra se almacenó a -20°C durante 60 minutos y luego se centrifugó nuevamente a 10,000 × g durante 20 minutos a 4°C, recogiendo este sobrenadante final para el ensayo de IGF-1. Para el ensayo, se añadieron 200 µL de tampón de ensayo (BSA al 0.5%/ fosfato sódico monobásico 0.03 M/ fosfato sódico dibásico 0.2 M/ azida sódica al 0.1%/ Triton X al 0.1%) y 200 µL del primer anticuerpo (1:20,000) diluido en suero de conejo normal 1:300 a tubos de plástico duplicados que contenían 100 µL de estándar (0.1638–40 ng/mL) o 100 µL de muestra extraída. Después de la preincubación a 4°C durante 72 horas, se añadió IGF-1 humano yodado con 125I (15,000 cpm/100 µL), y la incubación continuó durante otras 24 horas a 4°C. La hormona unida al anticuerpo se separó de la hormona libre mediante la adición de 200 µL de anticuerpo de cabra anti-conejo (1:75). Los tubos se incubaron con el segundo anticuerpo durante la noche a 4°C antes de la centrifugación (10,000 × g, 30 minutos, 4°C), después de lo cual se aspiró el sobrenadante y se contó el precipitado en un contador gamma. La sensibilidad a la insulina se determinó utilizando el índice de verificación cuantitativa de sensibilidad a la insulina (QUICKI) con la siguiente ecuación (Singh y Saxena, 2010):

$$\text{QUICKI} = 1/[\log \text{ glucosa } (\text{mg/dL}) + \log \text{ insulina } (\text{mIU/L})].$$

Análisis Estadístico

Los efectos del tratamiento sobre las tasas de crecimiento, las ingestas nutritivas y los biomarcadores metabólicos se examinaron utilizando modelos mixtos lineales (MML) en GenStat 22nd Edition (VSN International, Hemel Hempstead, Reino Unido). Los MML se ajustaron utilizando la máxima verosimilitud restringida con el ternero individual como unidad de análisis. Los efectos fijos incluyeron el efecto principal de la dieta anterior al destete, el efecto principal de la dieta posterior al destete, el efecto principal del factor tiempo y sus interacciones de 2 y 3 vías. Los efectos de las covariables (peso corporal al nacer, IRE estimado y edad de la madre) también se ajustaron como efectos fijos. Los efectos del factor de bloqueo del corral y del ternero dentro del corral se ajustaron como efectos aleatorios. El término aleatorio ternero dentro del corral se utilizó como término residual. Se asumió que los efectos aleatorios estaban distribuidos normalmente con media cero y varianza constante. El MML utilizado para analizar los datos en la fase anterior al destete difirió del modelo general en que incluyó los grupos de tratamiento, el tiempo y su interacción como efectos fijos. Sin embargo, las covariables y la estructura de los efectos aleatorios se mantuvieron iguales que en el modelo general. La normalidad de los residuos se verificó utilizando histogramas y gráficos de residuos versus valores ajustados. Las diferencias significativas entre los grupos de tratamiento en un punto de tiempo se presentan utilizando letras de Duncan basadas en la prueba LSD, donde LSD es aproximadamente 2 × EE de las diferencias de tratamiento. Los datos de insulina e IGF-1 requirieron una transformación logarítmica para cumplir con el supuesto de normalidad. Estas medias de tratamiento se retrotransformaron utilizando el factor de corrección de base $\exp(\hat{\mu}) + \frac{\hat{\sigma}^2}{2}$, donde $\hat{\mu}$ y $\hat{\sigma}^2$ son la media del tratamiento estimada y la varianza residual, respectivamente, en la escala logarítmica (Smith, 1993).

El tamaño de la muestra del tratamiento se determinó utilizando la fórmula LSD:

$LSD = t_{\{0.975\}} \sqrt{\frac{2\hat{\{\sigma\}}^2}{n}}$, donde $t_{\{0.975\}}$ es el percentil 0.975 de la distribución t y aproximadamente igual a 2, y $\hat{\{\sigma\}}^2$ es la varianza estimada en peso vivo de un experimento previo (Korst et al., 2017). El número de repeticiones por tratamiento, n, se puede escribir como:

$$n = 2 \left(\frac{t_{\{0.975\}} \times \hat{\{\sigma\}}}{LSD} \right)^2.$$

Encontramos que 9.4 kg de peso vivo era un LSD razonable para detectar diferencias entre tratamientos en nuestro experimento. Una novilla del grupo de tratamiento AA murió poco después de ingresar a la fase posterior al destete del experimento; por lo tanto, solo se incluyen sus datos anteriores al destete en los análisis.

RESULTADOS

Tasas de Crecimiento

Al nacer, no aparecieron diferencias significativas en el PC entre los grupos de tratamiento (Figura 1).

A partir de la semana 1 de edad, los grupos de tratamiento alimentados con alta cantidad de leche (AA y AB) fueron significativamente más pesados que los grupos de tratamiento alimentados con baja cantidad de leche (BA y BB; semana 1: $P = 0.017$; semana 2–semana 11: $P < 0.001$). La separación entre las 2 trayectorias de crecimiento aumentó hasta el destete a las 12 semanas de edad, lo que resultó en una diferencia de aproximadamente 15 kg en el PC ($P < 0.001$).

Figura 1 y el siguiente párrafo:

Figura 1. Peso corporal (PC) (kg) y ganancia diaria promedio (GDP) (kg) de novillas en 4 trayectorias de crecimiento diferentes (AA = tratamiento alto antes del destete y alta tasa de crecimiento después del destete; AB = tratamiento alto antes del destete y baja tasa de crecimiento después del destete; BA = tratamiento bajo antes del destete y alta tasa de crecimiento después del destete; BB = tratamiento bajo antes del destete y baja tasa de crecimiento después del destete). Antes del destete, las novillas fueron alimentadas con 8 L (AA y AB) o 4 L (BA y BB) de leche diariamente. Las barras flotantes indican el error estándar de la diferencia (ESD) en cada punto de tiempo, y los asteriscos (*) indican diferencias significativas en el PC antes del destete entre los tratamientos ($P < 0.05$). Cuando la diferencia entre las medias de cualquier tratamiento (dentro del tiempo) fue mayor que aproximadamente 2 veces el valor de ESD, esa diferencia sería significativa al nivel de significancia del 5%.

Deliberadamente, en la fase posterior al destete (Figura 2), el PC de los grupos de tratamiento AB y BA convergieron entre los 8 y 9 meses de edad y comenzaron a separarse nuevamente después de los 11 meses de edad. A los 13 meses, los grupos de tratamiento posteriores al destete se alinearon (AA con BA y AB con BB), y la diferencia en el PC fue consistente hasta los 15 meses de edad, según el diseño experimental. Sin embargo, después de los 15 meses de edad, las novillas de los tratamientos altos antes del destete tuvieron una GDP mayor que las de los tratamientos bajos antes del destete, y el PC comenzó a separarse nuevamente.

Aquí tienes la traducción de la descripción de la Figura 2 y la sección de ingesta de alimento:

Figura 2. Peso corporal (PC) (kg) y ganancia diaria promedio (GDP) (kg) de novillas en 4 trayectorias de crecimiento diferentes (AA = tratamiento alto antes del destete y alta tasa de crecimiento después del destete; AB = tratamiento alto antes del destete y baja tasa

de crecimiento después del destete; BA = tratamiento bajo antes del destete y alta tasa de crecimiento después del destete; BB = tratamiento bajo antes del destete y baja tasa de crecimiento después del destete). Antes del destete, las novillas fueron alimentadas con 8 L (AA y AB) o 4 L (BA y BB) de leche diariamente. Los objetivos de la tasa de crecimiento posterior al destete se manipularon según el diseño experimental a una tasa de crecimiento posterior al destete alta (AA y BA) o baja (AB y BB). Las barras de error flotantes indican el error estándar de la diferencia (ESD) en cada punto de tiempo, y los asteriscos (*) indican diferencias significativas en el PC después del destete entre los tratamientos ($P < 0.05$). Cuando la diferencia entre las medias de cualquier tratamiento (dentro del tiempo) fue mayor que aproximadamente 2 veces el valor de ESD, esa diferencia sería significativa al nivel de significancia del 5%.

Ingesta de Alimento

La ingesta diaria de leche para los grupos de tratamiento alto (AA y AB) fue mayor que la de los grupos de tratamiento bajo (BA y BB) durante todo el período anterior al destete (Tabla 2). Durante la primera semana, las novillas de los grupos alimentados con baja cantidad de leche consumieron ligeramente por debajo de su asignación (BA: 3.95 ± 0.020 L/ternero por día; BB: 3.83 ± 0.040 L/ternero por día), pero en todas las semanas posteriores consumieron su asignación diaria de 4 L hasta que comenzó el destete a las 10 semanas de edad. Las novillas de los grupos de tratamiento alto consumieron casi el doble, con 6.94 ± 0.118 L diarios en la primera semana, seguidos de ≥ 7.6 L/ternero por día para el grupo AB; y 7.22 ± 0.117 en la semana 1, seguidos de ≥ 7.6 L/ternero por día para el grupo AA durante todas las demás semanas hasta que comenzó el destete a las 10 semanas de edad. Una vez que comenzó el destete, la ingesta de leche se redujo en un 10% por día durante 10 días, quedando 1 L el día 10 y sin asignación de leche el día 11 del destete. Durante todo el período anterior al destete, la cantidad total promedio de leche consumida por las novillas del grupo alimentado con baja cantidad de leche fue de 298 L, que contenía 10.1 kg de PC, 834 MJ de EM y 10.43 kg de grasa cruda (GC). Las novillas alimentadas con alta cantidad de leche consumieron un promedio total de 582 L, que contenía 19.4 kg de PC, 1,595 MJ de EM y 20.4 kg de GC.

Durante la fase anterior al destete, la ingesta diaria de concentrado fue significativamente diferente entre los grupos alimentados con baja y alta cantidad de leche a partir de la semana 4 de edad (Tabla 3). Ambos grupos alimentados con baja cantidad de leche (BB y BA) comenzaron a consumir concentrado desde la primera semana de edad, mientras que los grupos alimentados con alta cantidad de leche (AA y AB) no comenzaron hasta aproximadamente la semana 3 de edad. Durante el período anterior al destete, la ingesta promedio de concentrado de las novillas alimentadas con baja cantidad de leche fue aproximadamente el doble que la de las novillas alimentadas con alta cantidad de leche. Al finalizar la fase anterior al destete, las novillas de los grupos BA y BB consumían un promedio de 1.7 kg de MS/ternero por día de concentrado, y los grupos AA y AB 1.4 kg de MS/ternero por día. La cantidad media de concentrado consumido por las novillas alimentadas con baja cantidad de leche durante todo el período anterior al destete fue de 57 kg de MS, que contenían 13.2 kg de PC, 763 MJ de EM y 2.05 kg de GC, en comparación con las novillas alimentadas con alta cantidad de leche que consumieron 29 kg de MS, que contenían 6.8 kg de PC, 392 MJ de EM y 1.04 kg de GC durante todo el período anterior al destete.

Tabla 3

Ingesta diaria media de concentrado (kg MS) y nutrientes consumidos del concentrado por novilla en la fase anterior al destete para novillas a las que se ofreció 8 L (AA y AB) o 4 L (BA y BB) de leche diariamente^{1a,b}

Las letras superíndices dentro de las filas indican una diferencia significativa entre las ingestas de tratamiento para esa semana ($P < 0.05$).

Medias derivadas del modelo mixto lineal, junto con el error estándar de las diferencias de tratamiento (ESD) y los valores P. AA = tratamiento alto antes del destete y alta tasa de crecimiento después del destete; AB = tratamiento alto antes del destete y baja tasa de crecimiento después del destete; BA = tratamiento bajo antes del destete y alta tasa de crecimiento después del destete; BB = tratamiento bajo antes del destete y baja tasa de crecimiento después del destete. GC = grasa cruda.

Abrir tabla en una pestaña nueva

La asignación de concentrado posterior al destete se manipuló mensualmente según el peso corporal promedio del tratamiento como parte del protocolo experimental (Tabla 4). Durante los primeros 4 meses posteriores al destete, la ingesta de concentrado no fue diferente entre los tratamientos. Entre los 3 y 5 meses de edad, todos los tratamientos consumieron aproximadamente 0.6 kg/novilla por día, y luego se retuvo el concentrado durante un mes a los 6 meses. Entre los 7 y 12 meses de edad, la asignación de concentrado varió entre los tratamientos, ofreciéndose concentrado solo a los grupos de alta tasa de crecimiento posterior al destete. Durante este tiempo, el grupo AA consumió 46 kg de MS de concentrado, y el grupo BA consumió casi 3 veces más, con 130 kg de MS. Después de los 12 meses de edad, se continuó reteniendo el concentrado de los grupos de baja tasa de crecimiento posterior al destete hasta los 18 meses de edad. A partir de los 16 meses de edad, el grupo BA requirió grano adicional (61 kg de MS) en comparación con el grupo AA para mantener ganancias de peso similares durante este período. Esto también se observó entre los grupos BB y AB, donde el BB requirió más grano a partir de los 18 meses de edad en un intento por alcanzar el PC del grupo AB (27 kg de MS). El consumo total de grano por grupo de tratamiento en la fase posterior al destete fue AA = 359 kg de MS (que contenían un PC total de 61.4 kg; 4,567 MJ de EM y 8.9 kg de GC); AB = 60 kg de MS (11.4 kg de PC; 802 MJ de EM y 1.8 kg de GC); BA = 516 kg de MS (93.4 kg de PC; 6,892 MJ de EM y 13.3 kg de GC), y BB = 87 kg de MS (16.1 kg de PC; 1,161 MJ de EM y 2.23 kg de GC).

Tabla 4

Ingesta media (\pm EE) de concentrado (kg MS por novilla) y nutrientes totales consumidos del concentrado en la fase posterior al destete para cada grupo de tratamiento, como datos resumidos¹

Tratamientos: AA = tratamiento alto antes del destete y alta tasa de crecimiento después del destete; AB = tratamiento alto antes del destete y baja tasa de crecimiento después del destete; BA = tratamiento bajo antes del destete y alta tasa de crecimiento después del destete; BB = tratamiento bajo antes del destete y baja tasa de crecimiento después del destete. GC = grasa.

Biomarcadores Metabólicos

Se detectó un efecto de interacción entre el tratamiento anterior al destete y la edad para las concentraciones de BHB ($P = 0.013$), glucosa ($P < 0.001$) e IGF-1 ($P < 0.001$) (Figura 3). Las novillas alimentadas con baja cantidad de leche tuvieron concentraciones significativamente más altas de BHB, más bajas de glucosa y más bajas de IGF-1 que los

grupos alimentados con alta cantidad de leche a las 6 semanas de edad. Sin embargo, a los 8 y 13 meses de edad, estas diferencias de tratamiento se perdieron. Se produjeron efectos de interacción tanto para el tratamiento anterior al destete y la edad, como para el tratamiento posterior al destete y la edad para las concentraciones de insulina ($P < 0.001$ y $P < 0.001$, respectivamente) y los resultados de QUICKI ($P < 0.001$ y $P = 0.001$, respectivamente). Las concentraciones de insulina fueron mayores para las novillas en los momentos en que tenían mayores niveles de nutrición, y los valores de QUICKI demostraron una reversión casi completa de estos efectos. No encontramos efectos del tratamiento sobre el AGNE; sin embargo, las concentraciones de AGNE sí se redujeron con la edad. Se presentan las medias retrotransformadas para la insulina y el IGF-1.

DISCUSIÓN

En la fase anterior al destete, las novillas de los 4 grupos de tratamiento siguieron las trayectorias de crecimiento de sus respectivas dietas de leche. Las terneras alimentadas con un mayor volumen de leche tuvieron mayores tasas de crecimiento que las que recibieron una dieta de leche restringida, lo que respalda nuestra primera hipótesis. Se comprende bien que las terneras alimentadas con leche restringida consumirán mayores cantidades de concentrado para intentar compensar los nutrientes que faltan debido al suministro limitado de leche (Jasper y Weary, 2002; Sweeney et al., 2010). El consumo de concentrado por parte de las terneras en este experimento reflejó esto, ya que las terneras alimentadas con baja cantidad de leche consumieron cantidades significativamente mayores de concentrado en la fase anterior al destete ($P < 0.001$; Tabla 3). Por lo tanto, su ingesta total combinada de PC (de la leche, como se ve en la Tabla 2, y de los concentrados anteriores al destete, como se ve en la Tabla 3) para la fase anterior al destete fue cercana a la de las terneras alimentadas con alta cantidad de leche, consumiendo un total de solo aproximadamente un 12% menos de PC en este período. Sin embargo, no pudieron compensar la ingesta de EM o GC, consumiendo casi un 25% menos de EM y un 50% menos de GC que las terneras alimentadas con alta cantidad de leche en el período anterior al destete. Esto indica además que, aunque las terneras alimentadas con restricción intentaron compensar nutricionalmente el suministro limitado de leche con una mayor ingesta de concentrado, esto no se logró por completo, y sus ingestas nutricionales totales y, por lo tanto, las ganancias de PC, se vieron afectadas. Estos hallazgos son consistentes con la investigación centrada en las tasas de crecimiento aceleradas por la alimentación con leche, prevalentes en toda la literatura, lo que indica que los estándares actuales de alimentación de terneros en Australia son inadecuados (Jasper y Weary, 2002; Borderas et al., 2009; Khan et al., 2011b).

Las novillas entraron en la fase posterior al destete con una diferencia de 15 kg entre los tratamientos altos y bajos anteriores al destete (Figura 1). Las asignaciones de grano y pasto se manipularon durante toda la fase posterior al destete para lograr las trayectorias de crecimiento objetivo del tratamiento. Una vez que el PC convergió en la fase posterior al destete (después de los 13 meses de edad; véase la Figura 2), las novillas de los tratamientos bajos anteriores al destete necesitaron grano adicional (como se ve en la Tabla 4) para mantener el mismo peso que las de los tratamientos altos anteriores al destete, y se hizo cada vez más difícil ralentizar la tasa de crecimiento de los grupos altos anteriores al destete. El diseño del tratamiento posterior al destete se basó en las estrategias actuales de crianza de novillas en Australia, con objetivos específicos de crecimiento del PC establecidos para lograr el mismo PC antes del parto para los tratamientos posteriores al destete. Por lo tanto, fue importante que los grupos de tratamiento posteriores al destete separados (AA con BA y AB con BB) alcanzaran y luego mantuvieran el mismo PC promedio durante todo el período posterior al destete. Aunque sospechamos alguna forma de efecto de arrastre en el crecimiento o la ingesta

nutricional de la fase anterior al destete en el grupo de tratamiento alto anterior al destete, esto no se puede confirmar, ya que no se registraron las ingestas individuales de pasto; por lo tanto, no tenemos ingestas nutricionales completas para medir tales eficiencias. La evidencia existente de Holloway y Butts (1983) respalda parcialmente esta premisa cuando las terneras de carne se criaron en varios tipos de pastos en la fase anterior al destete, lo que influyó en el patrón de crecimiento posterior al destete. Sin embargo, estos hallazgos no son consistentes con otros estudios. Por ejemplo, Rosadiuk et al. (2021) no informaron efectos sobre la ingesta, el crecimiento o la eficiencia del crecimiento de las novillas en la fase posterior al destete cuando las novillas fueron alimentadas con diversas cantidades de leche en la fase anterior al destete; sin embargo, esto fue solo hasta los 6 meses de edad. Otros estudios han encontrado que los rumiantes con nutrición restringida en la fase anterior al destete muestran un crecimiento compensatorio posterior al destete, lo que les permite alcanzar en PC a sus compañeras previamente bien alimentadas (Ryan et al., 1993; Rodríguez-Sánchez et al., 2015). A pesar de no poder medirse en este experimento, se justifica una mayor investigación sobre la eficiencia alimentaria y las ingestas totales individuales (incluido el pasto) de las novillas con alimentación acelerada antes del destete en la fase posterior al destete. En contraste con nuestra segunda hipótesis, las características metabólicas superiores fueron evidentes en momentos de mayor nivel de nutrición y fueron independientes de cualquier tratamiento aplicado previamente. A las 6 semanas de edad, el aporte nutricional fue mayor para las novillas alimentadas con alta cantidad de leche, y esto fue evidente en los biomarcadores metabólicos (las terneras alimentadas con alta cantidad de leche tuvieron glucosa, IGF-1 e insulina más altos y BHB y QUICKI disminuidos en comparación con las terneras alimentadas con baja cantidad de leche).

Posteriormente, a los 8 meses de edad aparecieron pocas diferencias en los biomarcadores metabólicos, lo que reflejó las similitudes en el aporte nutricional en este momento (AA 0 kg, AB 0 kg, BA 0.5 kg y BB 0 kg de concentrado diariamente). Sin embargo, a los 13 meses de edad, el aporte nutricional en el momento del muestreo tuvo más variación entre los tratamientos (AA 1.0 kg, AB 0 kg, BA 1.0 kg y BB 0 kg de concentrado diariamente), y, nuevamente, los biomarcadores metabólicos reflejaron esto (las novillas con alta tasa de crecimiento posterior al destete tuvieron concentraciones de insulina más altas y resultados de QUICKI más bajos que las novillas con baja tasa de crecimiento posterior al destete). La disociación entre los tratamientos aplicados previamente en los biomarcadores metabólicos está respaldada por trabajos previos de este grupo Ockenden et al. (2023), así como por De Paula et al. (2022), Rosadiuk et al. (2021) y (Kesser et al., 2017).

El efecto de interacción que condujo a niveles más altos de BHB en suero en las novillas del tratamiento bajo a las 6 semanas de edad, sin diferencias entre los tratamientos después, era esperado. Aunque se anticiparon las concentraciones más altas de BHB en las novillas alimentadas con leche restringida durante la fase anterior al destete, la justificación de esto es equívoca en la literatura. Se ha pensado que el BHB alto en las novillas alimentadas con leche restringida se debe, al menos en parte, al aumento de la función ruminal debido a su mayor ingesta de concentrado mientras intentan compensar los nutrientes limitantes proporcionados por la leche (Deelen et al., 2016; Byrne et al., 2017). Sin embargo, esta observación no es consistente (Suarez-Mena et al., 2017), y otros estudios han sugerido que un BHB más alto también puede indicar, de hecho, estrés metabólico en estos animales (Schwarzkopf et al., 2019; Ockenden et al., 2023). El aumento de BHB en la fase posterior al destete, sin embargo, probablemente sea el resultado de un aumento en la función ruminal y la transición de una dieta líquida a una sólida a los 8 y 13 meses de edad (Nemati et al., 2015). Encontramos que el AGNE no

difirió entre los tratamientos en ningún momento y disminuyó después del destete para todos los grupos de tratamiento. El AGNE más alto antes del destete probablemente sea el resultado de la alta concentración de ácidos grasos presentes en la leche (Schwarzkopf et al., 2019), y, después del destete, los niveles de AGNE se redujeron.

Se evidenciaron interacciones entre el tratamiento anterior al destete y la edad tanto para la glucosa como para la insulina. En la fase anterior al destete, la principal fuente de energía la proporcionan la glucosa y los ácidos grasos de la leche. Los niveles de glucosa fueron más altos para todos los tratamientos a las 6 semanas de edad mientras consumían leche, y luego se redujeron a medida que pasaban de ser animales monogástricos a rumiantes y las fuentes de energía cambiaban (Baldwin et al., 2004; Suarez-Mena et al., 2017). Además, las novillas con el tratamiento alto anterior al destete tuvieron niveles de glucosa significativamente más altos que las novillas alimentadas con baja cantidad de leche en la fase anterior al destete ($P < 0.001$). Se han observado efectos de tratamiento similares en experimentos previos, donde las novillas que consumían mayores volúmenes de leche tenían niveles más altos de glucosa e insulina como resultado de la mayor ingesta de energía (Byrne et al., 2017; Rosadiuk et al., 2021; Ockenden et al., 2023).

También se detectó un efecto de interacción entre el tratamiento posterior al destete y la edad para la insulina, en el sentido de que a los 13 meses de edad, las novillas con un mayor nivel de nutrición tenían insulina significativamente más alta ($P < 0.001$). A pesar de una tendencia de interacción hacia la significación en la glucosa con el tratamiento posterior al destete y la edad, la significación biológica de este resultado (0.2 mmol/L entre tratamientos) es insignificante. También se informaron niveles aumentados de insulina y niveles de glucosa sin cambios en los grupos altos posteriores al destete en (Rosadiuk et al., 2021). Esto puede indicar una reducción en la sensibilidad a la insulina, lo que está respaldado además por nuestros resultados del índice QUICKI, y se ha descrito previamente en la fase posterior al destete (Pantophlet et al., 2016; Rosadiuk et al., 2021). Una de las principales preocupaciones en torno a la alimentación con altos volúmenes de leche en la fase anterior al destete es el potencial de efectos perjudiciales permanentes en el metabolismo de la glucosa, específicamente la sensibilidad a la insulina (van den Borne et al., 2006; Yunta et al., 2015; Hammon et al., 2018). Al aplicar la verificación de sensibilidad a la insulina QUICKI, también se detectaron interacciones entre el tratamiento anterior y posterior al destete con la edad por separado. Esto indicó que las novillas con un mayor nivel de nutrición tenían una sensibilidad a la insulina disminuida en el momento de la nutrición elevada, independientemente del tratamiento previo, lo que sugiere que no hay efectos a largo plazo o permanentes de la alimentación con un mayor volumen de leche.

El IGF-1 fue más alto en las novillas alimentadas con alta cantidad de leche que en las novillas alimentadas con baja cantidad de leche a las 6 semanas de edad, después de lo cual desaparecieron los efectos del tratamiento anterior al destete. El IGF-1 se ha correlacionado altamente con el rendimiento animal, incluidos los perfiles metabólicos y el crecimiento (Rodríguez-Sánchez et al., 2015; De Paula et al., 2022). Por lo tanto, las diferencias a las 6 semanas de edad serían esperables, ya que esto refleja el estado nutricional entre los tratamientos en ese momento. La falta de diferencia a los 8 meses también indica la mínima diferencia nutricional entre los tratamientos en ese momento, al tiempo que sugiere que no hay un efecto de arrastre del aumento de la nutrición anterior al destete. Sin embargo, a los 13 meses, cuando la insulina fue numéricamente más alta para el grupo alto posterior al destete, esperaríamos observar una diferencia más notable en los niveles de IGF-1 también (McGuire et al., 1995; De Paula et al., 2022).

Esto sugiere que en la fase posterior al destete, nuestros aportes nutricionales pueden no haber diferido lo suficiente entre sí a los 13 meses de edad. La ingesta de pasto también se restringió para todas las novillas en el momento del muestreo a los 13 meses en un intento por ralentizar la tasa de crecimiento del grupo AB. Esta restricción nutricional, aunque las ganancias de peso aún eran evidentes, puede haber afectado los niveles de IGF-1 en todos los animales y contribuido a la falta de diferencias detectadas a los 13 meses de edad.

Nuestros resultados no respaldan nuestra segunda hipótesis, ya que indican beneficios de la nutrición acelerada sobre el metabolismo solo en el momento del aumento de la nutrición, y falta de un beneficio de arrastre de la fase anterior al destete. La falta de impronta metabólica anterior al destete en las novillas lecheras es consistente con otros estudios que analizan una profundidad similar de biomarcadores metabólicos y endocrinos (Kesser et al., 2017; Rosadiuk et al., 2021; De Paula et al., 2022). Los biomarcadores investigados en este experimento se utilizan comúnmente al investigar el estado metabólico de las vacas lecheras lactantes durante el período de transición. Esta selección permite futuras investigaciones sobre el equilibrio energético para determinar si los tratamientos en las primeras etapas de la vida tienen alguna influencia en la resiliencia de la vaca lechera en un momento metabólicamente desafiante como la lactancia. Kenéz et al. (2018) pudieron distinguir diferencias en el metabolismo en novillas de primera lactancia criadas con diferentes estrategias nutricionales anteriores al destete utilizando métodos metabólicos. Por lo tanto, también pueden ser necesarios más estudios que utilicen este nivel de análisis más intrincado para comprender completamente los mecanismos subyacentes a cualquier evidencia de programación del desarrollo metabólico.

CONCLUSIONES

El aumento de los niveles de nutrición en las fases anterior y posterior al destete del desarrollo mejoró las tasas de crecimiento y las características metabólicas de las novillas en el momento del aumento de la nutrición. Las ventajas observadas en el metabolismo fueron independientes del tratamiento previo, lo que sugiere signos limitados de programación del desarrollo y poco efecto de arrastre del aumento de la nutrición anterior al destete en la fase posterior al destete. La alimentación de novillas lecheras con mayores volúmenes de leche en la fase anterior al destete redujo la ingesta de concentrado, pero aumentó las tasas de crecimiento, los niveles de glucosa, insulina e IGF-1, al tiempo que redujo los niveles de BHB. En la fase posterior al destete, un mayor nivel de nutrición también mejoró las tasas de crecimiento y aumentó los niveles de insulina en el momento del aumento de la nutrición. Dados estos resultados, parecería que la nutrición acelerada anterior al destete es importante para las características metabólicas de un ternero, pero no influye en gran medida en el futuro fenotipo metabólico de la vaca. Se necesita más trabajo para investigar los futuros resultados de reproducción y producción de estas novillas.

NOTAS

Esta investigación fue financiada por Agriculture Victoria (Ellinbank, VIC, Australia), Dairy Australia (Melbourne, VIC, Australia) y la Universidad de Melbourne (Melbourne, VIC, Australia). Los autores agradecen el apoyo y la aportación técnica de E. Johnson y de todo el personal científico, técnico y lechero de la Estación Experimental Lechera de Agriculture Victoria Ellinbank (Ellinbank, Australia). La aprobación para este experimento fue otorgada por el Comité de Ética Animal de Investigación y Extensión Agrícola, número de solicitud 2021-08. Los procedimientos experimentales se llevaron a cabo de acuerdo con el Código Australiano de Prácticas para el Cuidado y Uso de Animales con Fines

Científicos (Consejo Nacional de Investigación Médica y de la Salud, 2013). Los autores no han declarado ningún conflicto de intereses.

Abreviaturas no estándar utilizadas: IRE = Índice de Rendimiento Equilibrado; GC = grasa cruda; AA = tratamiento alto antes del destete y alta tasa de crecimiento después del destete; AB = tratamiento alto antes del destete y baja tasa de crecimiento después del destete; BA = tratamiento bajo antes del destete y alta tasa de crecimiento después del destete; BB = tratamiento bajo antes del destete y baja tasa de crecimiento después del destete; MML = modelo mixto lineal; AGNE = ácido graso no esterificado; QUICKI = índice de verificación cuantitativa de sensibilidad a la insulina; RIA = radioinmunoensayo.

Referencias

Cuadros y Tablas

[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(24\)01437-1/fulltext?dgcid=raven_jbs_etoc_email](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(24)01437-1/fulltext?dgcid=raven_jbs_etoc_email)

Clic Fuente

