UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

FVET

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA

PRODUCCIÓN LÁCTEA Y MOVILIZACIÓN DE RESERVAS CORPORALES EN VACAS HOLSTEIN DE DIFERENTES GENOTIPOS ALIMENTADAS CON ALTA INCLUSIÓN DE PASTO EN DIETA

Por

CANTELE MARTINEZ, Juan Manuel

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

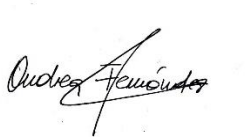
MODALIDAD: Ensayo experimental.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2024

PÁGINA DE APROBACIÓN:

Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa:



Dra. Andrea Fernández

Segundo miembro:

Dra. Irene Benoit

Tercer miembro:

_____

Dra. Carolina Fiol

Cuarto miembro:

_____

Lic. Mercedes Garcia-Roche

Fecha: 22 de julio del 2024.

Autor:

Br. Juan Manuel Cantele Martinez

AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad de la República y la Facultad de Veterinaria por contribuir a mi formación y desarrollo académico.

A mi tutora, la Dra. Irene Benoit, quien con paciencia y dedicación me dio la posibilidad de realizar la presente tesis de grado, gracias por el constante apoyo.

A la co-tutora Lic. Mercedes Garcia-Roché MSc. PhD. por su colaboración en este trabajo mediante su experiencia y sus conocimientos.

Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria por brindar las instalaciones, animales, materiales, protocolos y alojamiento con los que se desarrolló el experimento.

A toda mi familia, en especial a mis padres y hermano, quienes, con apoyo incondicional, afecto y mucho esfuerzo han sido pilar fundamental para mi formación.

A mis compañeros de estudio, hoy amigos, gracias por tantas experiencias compartidas.

A mis amigos, compañeros de trabajo y compañeros de convivencia por su apoyo y afecto durante los años de carrera.

TABLA DE CONTENIDOS

Página

PAGINA DE APROBACIÓN…… 2

AGRADECIMIENTOS…….. 3

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS……... 5

RESUMEN …… 6

SUMMARY…… 7

INTRODUCCIÓN……... 8

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA…….. 9
Lechería en Uruguay…… 9
Genotipos……..... 10
Periodo de transición y lactancia temprana…….. 11
Adaptación metabólica…… 12

HIPÓTESIS…… 13

OBJETIVOS…… 13

MATERIALES Y MÉTODOS…… 14
Diseño del experimento…… 14
Obtención de datos…… 15
Análisis Estadístico……... 15

RESULTADOS…….. 16

DISCUSIÓN…… 24

CONCLUSIONES…… 26

BIBLIOGRAFÍA…… 27

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

LISTA DE TABLAS:

		Página
Tabla 1	Producción y composición láctea	17
Tabla 2	Movilización de reservas corporales	20

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Producción láctea	16
Figura 2	Contenido de sólidos en leche	18
Figura 3	Producción de sólidos en leche	19
Figura 4	Indicadores de movilización de reservas corporales	21
Figura 5	Metabolitos indicadores de movilización de reservas corporales	23

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de leche y la movilización de reservas corporales en el periodo de transición y la lactancia temprana de vacas Holstein de distinto origen genético, alimentadas en base a una dieta con alto nivel de inclusión de pasturas. Para ello se dispuso de 30 vacas multíparas a parir entre febrero y junio del año 2019: 15 con origen norteamericano (H-NA) y 15 con origen neozelandés (H-NZ) manejadas bajo una misma estrategia de alimentación denominada “Pasto máximo” (Pmax), en la cual se buscó que los animales cosecharan la mayor cantidad de pasto posible en función del crecimiento semanal de la plataforma de pastoreo que se les asignó según el sistema 3R de INIA “La Estanzuela”. Las vacas fueron suplementadas con un concentrado energético-proteico en sala de ordeñe (representando el 30 % de la dieta ofrecida) y se ofrecieron reservas forrajeras según el crecimiento de la pastura. Ambos grupos fueron estudiados desde el momento del secado hasta la lactancia temprana, comprendido entre la semana 8 preparto (-8) hasta la semana 16 post parto (+16). Se midió diariamente la producción de leche y cada 15 días se tomaron muestras de leche de dos ordeñes consecutivos para determinar la concentración de grasa, proteína y lactosa; también quincenalmente se midió el peso vivo y la condición corporal. Por otra parte se tomaron muestras de sangre de la vena coccígea en las semanas -8,-4,-2, +2,+3,+4,+8,+16 con respecto a la fecha de parto para determinar la concentración de ácidos grasos no esterificados (NEFA) y beta-hidroxibutirato (BHB). En este estudio hallamos que los animales H-NZ produjeron leche con mayor contenido de proteína y grasa que las vacas H-NA, y no se observaron diferencias en el porcentaje de lactosa entre ambos genotipos. Sin embargo, las vacas H-NA produjeron mayor cantidad de leche y sólidos totales que las vacas H-NZ. Ambos grupos de animales presentaron igual nivel de movilización de las reservas corporales, evidenciada en la pérdida de peso y condición corporal, y el aumento de NEFA y BHB. Es probable que H-NA y H-NZ hayan movilizado al mismo nivel ya que la dieta se formuló ponderando, entre otras variables, el potencial de producción y el peso metabólico de cada genotipo. Esto sugiere que la mayor producción de leche por parte de las vacas H-NA se debió al mérito genético de estos animales, y no por una mayor movilización de sus reservas corporales.

SUMMARY

The aim of this research was to evaluate milk yield and mobilization of body reserves in the transition period and early lactation of Holstein cows from different genetic origins, fed on a diet with a high level of pasture inclusion. Thirty multiparous Holstein cows, calving between February and June of 2019, were used from North American (H-NA, N = 15) and New Zealand (H-NZ, N = 15) origin managed under the same feeding strategy called “Maximum pasture” (Pmax), in which the animals harvested the greatest amount of grass possible based on the weekly growth of the grazing platform assigned to them by the 3R system of INIA “La Estanzuela”. Cows were supplemented with an energy-protein concentrate in the milk parlor (representing 30% of the offered diet) and were offered forage reserves according to pasture growth. Both groups were studied from the dry period until early lactation, between week 8 prepartum (-8) and week 16 postpartum (+16). Milk yield was measured daily; milk samples from two consecutive milkings were taken every 15 days to determine the concentration of fat, protein and lactose; body weight and body condition score were measured fortnightly as well. On the other hand, blood samples were taken from the coccygeal vein in weeks -8,-4,-2, +2,+3,+4,+8,+16 with respect to the date of calving to determine the concentration of non-esterified fatty acids (NEFA) and beta-hydroxybutyrate (BHB). Our results showed that H-NZ animals produced milk with higher protein and fat content than H-NA cows, while no differences were observed in the percentage of lactose between both genotypes. However, H-NA cows produced more milk and total solids than H-NZ cows. Both groups of animals presented the same level of mobilization of body reserves, evidenced in the loss of body weight and body condition score, as well as the increase in NEFA and BHB. It is possible that both H-NA and H-NZ mobilized at the same rate because diets were formulated based on the production potential and metabolic weight of each genotype, among other variables. This suggests that H-NA reached greater milk yields due to their genetic merit and not due to a greater mobilization of their body reserves.

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de 50 años, la producción láctea ha crecido considerablemente a nivel mundial, debido a factores como la difusión de vacas Holstein seleccionadas por sus altos niveles de producción, en conjunto con el aumento en los niveles de suplementación, potenciando de esta forma el aumento de producción individual (Fulkerson et al., 2008). La selección de líneas genéticas por sus altos niveles productivos ha sido predominantemente en países como Estados Unidos y Canadá, en donde los sistemas de producción son en su mayoría estabulados, caracterizados por una alimentación con altas densidades energéticas (Rauw, Kanis, Noordhuizen-Stassen y Grommers, 1998).

El uso de vacas Holstein con alto mérito genético se difundió considerablemente en países con sistemas productivos pastoriles como Irlanda o Nueva Zelanda, contribuyendo al aumento de producción láctea; en este sentido la bibliografía internacional reporta que animales seleccionados por sus altos niveles de producción, manejados bajo sistemas pastoriles resultan en mayor producción láctea, menor condición corporal, menor fertilidad y supervivencia, que vacas con menor mérito genético (Dillon, Berry, Evans, Buckley y Horan, 2006).

Sin embargo, la línea genética óptima para la producción de leche varía para cada sistema debido a la existencia de fuertes interacciones encontradas entre el genotipo, el ambiente productivo y el sistema de alimentación (Horan et al., 2005a).

En nuestro país el 78% de los bovinos lecheros son H-NA, mientras que el 13% corresponde a H-NZ (Instituto Nacional de la Leche, INALE, 2019), la mayoría manejados en sistemas con diferentes grados de inclusión de pastura en sus dietas.

Estudios nacionales reportaron diferencias en producción láctea y condición corporal en vacas de diferentes orígenes genéticos que han sido manejadas con diferentes niveles de inclusión de forraje en dietas con un mismo objetivo productivo (Stirling, Delaby, Mendoza y Fariña, 2021). Este estudio se centró en variables a nivel de sistema productivo, sin ahondar en el metabolismo de los distintos grupos de animales que componían los 4 tratamientos.

Siguiendo esta misma línea resulta interesante estudiar la respuesta adaptativa de los animales H-NA y H-NZ en cuanto a producción láctea y a nivel de cambios metabólicos cuando son manejadas en condiciones de pastoreo que apunten a cosechar la mayor cantidad de forraje posible proveniente de las pasturas, en función de su disponibilidad, y de la capacidad de consumo de los animales según su origen genético.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Lechería en Uruguay

En la última década la producción de leche a nivel nacional ha venido en aumento, tendencia que se viene registrando durante los últimos 30 años, pasando de producir 1582 millones de litros en 2001 a 2205 millones en 2020 (Oficina de Estadísticas Agropecuarias, DIEA, 2021).

Este salto productivo se explica por las mayores producciones individuales, actualmente más de 6500 litros/VM/año (DIEA, 2021) y por los diversos procesos de intensificación, entre los que se destacan la mejora nutricional, la selección genética y cambios en el manejo que derivaron en una mayor carga animal (Fariña y Chilibroste, 2019).

A nivel de las industrias, en Uruguay se ha promovido el criterio de pago por el contenido de sólidos en leche, debido a la importancia que representan estos valores en los productos finales para la exportación hacia los diversos países compradores, entre los que se encuentran Brasil, China y Argelia (Oficina de Estadísticas Agropecuarias, OPYPA, 2022).

Nuestro país tiene la particularidad de tener una producción fundada sobre una base pastoril, lo cual hace que los picos de producción acompañen los momentos de mayor crecimiento de las pasturas, por lo tanto, a lo largo del año la industria recibe mayor cantidad de leche durante los meses de primavera (DIEA, 2021). Esta alta inclusión de pasturas en la dieta contribuye a que Uruguay exhiba uno de los costos de producción más bajos a nivel internacional, sin embargo, se ha reportado que trae consigo un desbalance estructural entre oferta y demanda de nutrientes en algunas épocas del año, pudiendo llevar a periodos de subnutrición del rodeo (Chilibroste, Soca y Mattiauda, 2011).

En nuestro país el 78% de los bovinos lecheros tienen su origen genético proveniente de norteamérica (H-NA), mientras que el 13% corresponde a vacas de origen neozelandés (H-NZ) (INALE, 2019), los cuales son manejados en su mayoría en sistemas con diferentes grados de inclusión de pastura en sus dietas.

Teniendo en cuenta estas características de nuestros sistemas de producción, sumado a que el consumo de materia seca a pastoreo no alcanza los niveles logrados en sistemas de confinamiento, a los que históricamente se ha adaptado la línea genética H-NA, es probable que en Uruguay no se esté sosteniendo una producción de la magnitud del potencial genético de los animales (Chilibroste, Soca y Mattiauda, 2012). Una de las limitantes en Uruguay es el bajo desempeño reproductivo de los animales de genética H-NA; esto determina una alta tasa de reposición por lo que los rodeos no logran aumentar de tamaño de forma sostenida (Chilibroste y Fariña, 2019).

En los últimos años se ha promovido la introducción de genética de Nueva Zelanda, debido a la similitud del sistema pastoril con el de nuestro país, según los datos encontrados pasó de constituir el 6% del rodeo dentro de la raza en 2014, a un 13% en 2019 (INALE, 2019).

Genotipos

A lo largo de la historia, dentro de la raza Holstein los procesos de selección centraron su atención casi exclusivamente en aumentar las producciones individuales de leche, como resultado se vieron afectados principalmente los objetivos reproductivos de producir un ternero por vaca cada año y se volvió una dificultad mantener el estado corporal de los animales (Dillon et al., 2006). Por lo tanto, a partir de finales del siglo pasado comenzaron a ganar importancia otras características como fertilidad, salud, longevidad y conformación de ubre, entre otras (Hansen, 2000; Miglior et al., 2017).

El ganado Holstein-Friesian de origen norteamericano ha sido seleccionado durante décadas casi exclusivamente por altas producciones de leche, en sistemas estabulados (Rauw et al., 1998). En estos sistemas se ofrecen dietas totalmente mezcladas que son formuladas para satisfacer los requerimientos nutricionales del animal en distintas etapas del ciclo productivo. Esto ha dado como resultado vacas más pesadas, que producen grandes cantidades de leche, con menor contenido de grasa y proteína (Horan et al., 2005a; Roche, Berry y Kolver, 2006). A medida que aumenta la producción de leche por vaca aumenta la eficiencia alimenticia ya que el consumo de materia seca (CMS) no aumenta a la misma tasa diluyendo así el costo de mantenimiento, esto ha sido la base del aumento en la eficiencia alimenticia en vacas H-NA (VandeHaar et al., 2016) y la razón por la cual este indicador es mayor en sistemas estabulados que en sistemas de base pastoril (Chilibroste y Fariña, 2019).

En contraste, en países como Nueva Zelanda se ha desarrollado una lechería basada en consumo de pasturas directamente cosechadas por los animales, con bajos niveles de inclusión de concentrados en la dieta, con una dinámica de pariciones estacionales en donde el pico de producción de leche coincide con los meses de primavera durante los cuales hay una mayor disponibilidad de pasto. En este contexto, el 90% de la leche producida es procesada en la industria con destino a exportación, lo que ha generado el pago por sólidos producidos. Esto ha llevado a desarrollar una línea de selección genética que ha resultado en animales con un mayor contenido de grasa y proteína en leche, un menor peso vivo que mejora su eficiencia alimentaria, y con buenos indicadores de supervivencia y fertilidad a nivel de rodeo (Harris y Kolver, 2001).

Según Dillon (2006), las vacas del genotipo neozelandés han sido seleccionadas para tener pariciones estacionales, para pastorear de forma efectiva como también amortiguar los cambios en el estado fenológico de la pastura y caminar largos trayectos, habilidades que las vacas en sistemas estabulados no precisan desarrollar. Esta selección ha tenido como resultado animales de menor peso vivo.

A nivel internacional, los diversos sistemas de producción de leche han experimentado décadas de constante intensificación en los procesos, con incrementos en los niveles de suplementación y producción individual, lo que ha resultado en un incremento en la cantidad de litros totales producidos (DIEA, 2021).

Acompañando esta tendencia se ha dado la introducción de genética proveniente de Norteamérica en sistemas de base pastoril como Nueva Zelanda (Harris y Kolver, 2001), Australia (Fulkerson et al., 2008) o Irlanda (Evans et al., 2006; Horan et al., 2005a). Tal ha sido el uso de genética proveniente de Norteamérica dentro de este proceso de intensificación, que solo en Irlanda el genotipo H-NA pasó de constituir el 9% del rodeo en 1990 a ser mayoría con 65% en el año 2001 (Evans et al., 2004).

Se ha reportado que vacas H-NA manejadas en sistemas de alimentación basados en pasturas, presentan una mayor producción de leche con respecto a vacas H-NZ, y una mayor pérdida de condición corporal durante el período de transición y la lactancia temprana (Fulkerson et al., 2008; Horan et al., 2005a; McCarthy, Berry, Dillon, Rath y Horan, 2007; Roche et al., 2006). Si bien ello explicaría parte de la leche extra producida (McCarthy et al., 2007; Roche et al., 2006), también contribuiría a explicar el peor desempeño reproductivo de este genotipo cuando se manejan en estas condiciones de alimentación (Horan, Mee, O'Connor, Rath y Dillon, 2005b). En sentido opuesto, en un sistema pastoril el genotipo neozelandés logra cubrir la mayor proporción de sus requerimientos energéticos a partir de los aportes de la pastura, lo cual se refleja en su menor pérdida de condición corporal, y un mayor porcentaje de concepción y preñez (Horan, Mee, Rath, O'Connor y Dillon, 2004; McCarthy et al., 2007).

Período de transición y lactación temprana

El periodo de transición está comprendido entre los 21 días previos y 21 días posteriores al parto, siendo una de las etapas más desafiantes para la vaca lechera, en donde la prioridad del flujo de nutrientes pasa del útero grávido a la glándula mamaria (Bauman y Currie, 1980).

Durante este periodo se produce una depresión del sistema inmune, fundamentalmente se dan cambios en la respuesta inflamatoria y modificaciones en el sistema inmune innato y adquirido, sobre todo a nivel de la respuesta celular (Bentancor, 2020). Es así que durante la transición se concentran los problemas sanitarios del rodeo lechero y la base radica en la presión metabólica que implica los altos niveles de producción (Chilibroste et al., 2012).

En las últimas semanas previas al parto se da una disminución del consumo voluntario que llega a ser equivalente al 30% (Grummer, 1995), sumado a la mayor demanda energética para producir leche hace que se instale un balance energético negativo (BEN), que promueve la movilización de reservas corporales para la obtención de energía a través de la beta- oxidación (Drackley, 1999).

Por otra parte, al inicio de la lactancia no logran mantener un nivel de consumo que alcance las necesidades energéticas para la producción de leche, en ese estado fisiológico tienen una utilización de nutrientes por parte de la glándula mamaria superior a la del resto del cuerpo (Roche et al., 2006). El déficit calórico resultante deriva en el catabolismo de las reservas de tejido adiposo y muscular, los cuales proveen precursores gluconeogénicos alternativos, como los aminoácidos (Bell, Burhans y Overton, 2000), glicerol, y glucógeno, los cuales intentan suplir la deficiencia del propionato proveniente de la alimentación, precursor neoglucogénico por excelencia (Drackley, Overton y Douglas, 2001), permitiendo de esta forma mantener el flujo de glucosa hacia glándula mamaria por medio de la NG (Roche et al., 2006).

Se estima que las vacas lecheras movilizan durante la lactancia temprana el 60% de su contenido de grasa corporal (Tamminga, Luteijn y Meijer, 1997). De esta forma se da un aumento de los niveles de ácidos grasos no esterificados (NEFA) provenientes de la lipomovilización, que se oxidan a acetil-CoA e ingresan al ciclo de Krebs para su oxidación o tomar la ruta de la formación de cuerpos cetónicos, entre ellos el beta -

hidroxibutirato (BHB), el cual es usado como fuente alternativa de energía para los tejidos periféricos (Drackley et al., 2001). Ambos metabolitos aumentan su concentración en el postparto y se mantienen más elevados durante la lactancia temprana (Drackley et al., 2001; Meikle et al., 2004).

Por otra parte, la medición de condición corporal (CC) es considerada una herramienta útil para monitorear el periodo de transición a nivel de los sistemas lecheros ya que constituye una forma de visualizar la movilización de las reservas corporales. Existe una escala de 5 puntos desarrollada por Edmonson, Lean, Weaver, Farver y Webster (1989) que es de fácil implementación mediante la observación y clasificación de los animales. Es aceptado que, durante el periodo de transición, más específicamente luego del parto, la vaca lechera disminuye su CC (Chilliard, 1999) y se ha demostrado que la magnitud de esta pérdida va a depender de factores como la paridad y la CC con la que el animal llega al parto, entre otros (Meikle et al., 2004).

Adaptación metabólica

Algunos estudios a nivel nacional han reportado diferencias en la movilización de reservas corporales entre vacas Holstein Uruguayo de diferente origen genético (H-NA y H-NZ) y paridad. Se encontró que vacas H-NA, tuvieron concentraciones de NEFA y de BHB que aumentaron en torno al parto y fueron mayores que en los animales H-NZ (Pereira, Laborde, Carriquiry, López-Villalobos y Meikle, 2010), mientras que en la misma linea Stirling y col. (2021) reportaron mayores puntuaciones de condición corporal para el genotipo H-NZ. A su vez, se ha reportado que vacas con mayor CC al parto o en el preparto movilizaron más NEFA que vacas con pobre CC (Adrien, 2010) y que vacas de primer parto tuvieron mayores concentraciones que aquellas multíparas (Meikle et al., 2004; Cavestany et al., 2005; Bentancor, 2020).

Estas diferencias encontradas en los estudios anteriormente mencionados reflejan variaciones en las capacidades de adaptar el metabolismo, movilizar reservas y favorecer la producción de leche.

HIPÓTESIS

Las vacas Holstein de origen norteamericano (H-NA) manejadas en un sistema alimentación con alto nivel de inclusión de pasturas presentarán:

- mayor producción de leche que las neozelandesas (H-NZ) en el mismo sistema de alimentación

- menor porcentaje de sólidos (grasa, proteína y lactosa) en leche, pero mayor producción total (en kg) de estos sólidos que su contraparte neozelandesa (HNZ), y

- movilizarán reservas corporales en mayor medida que las vacas H-NZ durante el periodo estudiado, lo cual se evidenciará en:

  - mayor pérdida de peso vivo y condición corporal.

  - mayores niveles de NEFA y BHB en sangre.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la producción de leche y la movilización de reservas corporales en el periodo de transición y la lactancia temprana de vacas Holstein de distinto origen genético, alimentadas en base a una dieta con alto nivel de inclusión de pasturas en función de su potencial de consumo.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar las curvas de producción láctea y de sólidos.

2. Evaluar los cambios del peso vivo y la condición corporal en los animales durante el periodo de transición y la lactancia temprana, como medida representativa de la movilización de reservas corporales.

3. Determinar la concentración sanguínea de NEFA y BHB como indicador metabólico de la movilización de reservas corporales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente ensayo se llevó a cabo en el marco del proyecto “10-MIL: Módulos de Intensificación en Lechería”, en la estación experimental de INIA La Estanzuela, en el departamento de Colonia. Se realizó con el aval de la CEUA: protocolo INIA 2017.2, de abril del 2017.

El trabajo de campo fue durante el año 2019, el cual constituía el tercer año de repetición de este proyecto.

Diseño experimental

Para el experimento se utilizaron 60 vacas adultas de diferentes genotipos dentro de la raza Holstein: 30 de ellas provenientes de Estados Unidos y Canadá (H-NA), y 30 vacas con una proporción de genes mayor al 75% provenientes de Nueva Zelanda (H-NZ).

Las vacas H-NA pesaron en promedio 580 kg y contaban con un índice económico productivo (IEP) de 108; mientras que las H-NZ fueron de 450 kg de peso vivo promedio y de un IEP de 119. Los datos genealógicos fueron provistos por Mejoramiento y control lechero uruguayo.

Las 60 vacas fueron manejadas bajo una misma estrategia de alimentación denominada “Pasto máximo” (Pmax), en la cual la asignación de pasturas era flexible, buscando maximizar el consumo de pasto por parte de los animales, en función del crecimiento de la plataforma de pastoreo del sistema. Para ello, la asignación de forraje se modificaba semanalmente según la tasa de crecimiento de la pastura, de acuerdo al sistema de pastoreo “La Estanzuela” (Fariña, Tuñón, Pla y Martínez, 2017). Se utilizaron pasturas perennes compuesta 50% por Alfalfa (*Medicago sativa)* combinada con Dactylis glomerata y 50% Festuca pura (*Festuca arundinacea*), además se contaba con verdeos de invierno implantados con Avena (*Avena sativa*) o Raigrás (*Lolium perenne*).

El objetivo planteado en esta estrategia era que el 60% de la dieta anual promedio fuese forraje cosechado directamente por los animales. El resto de la dieta anual estaba conformada por un 30% de concentrado ofrecido en la sala de ordeñe, y un 10% de reservas forrajeras brindadas con vagón forrajero en el patio de alimentación, las cuales se dieron únicamente en los momentos en que fue necesario cubrir los requerimientos nutricionales de los animales. Al principio del experimento se estimó el consumo potencial de materia seca por mes de lactancia de acuerdo al *Nutrients Requirements of Dairy Cattle, Seventh Revised Edition, 2001 (NRC*), usando modelos d curvas de lactancia (Wood, 1967) y asumiendo una producción de 7500 litros y 5000 litros por lactancia para HNA y HNZ respectivamente. La formulación de la dieta se realizó mediante el software Dairy NRC 2001 ajustándose cada semana en función de potencial del consumo de materia seca, la tasa de crecimiento de la pastura y la producción estimada.

Desde el momento del secado y durante el preparto ambos grupos de animales fueron manejados en conjunto con una dieta TMR compuesta por 69% silo de maíz, 9% cascara de soja, 8% grano seco de maíz, 10% harina de soja y un 4% de aditivos entre

ellos: urea y sales aniónicas utilizadas solo en pre parto. El consumo promedio fue de 12,5 Kg MS por vaca durante ambos periodos.

Dentro de cada grupo se seleccionaron 15 vacas multíparas que hubiesen pasado al menos una lactancia anterior bajo el mismo protocolo de alimentación, con el objetivo de realizarles un seguimiento más detallado desde el momento del secado hasta la lactancia temprana, comprendido entre la semana 8 preparto (-8) hasta la semana 16 post parto (+16), considerando el parto como el momento 0.

Las vacas seleccionadas fueron agrupadas por fechas esperadas de parto, número de lactancias y dentro del mismo genotipo se buscó que tuviesen valores de IEP similares. De esta forma se conformaron 2 tratamientos con 15 animales cada uno: NA-Pmax (n=15) y NZ-Pmáx (n=15).

Los dos grupos recibieron el mismo manejo reproductivo, ocuparon distintas áreas de la plataforma de pastoreo, pero manteniendo similares características productivas, además compartieron la misma sala de ordeñe con el objetivo de recorrer la misma distancia para ser ordeñadas y de transitar por los mismos caminos.

Obtención de datos

Producción de leche:

Se midió diariamente la producción de leche, mediante el software de la máquina de ordeñe de la empresa GEA. Adicionalmente, de forma quincenal se tomaron muestras de leche de dos ordeñes consecutivos para determinar la concentración de grasa, proteína y lactosa, las cuales fueron procesadas en el laboratorio de calidad de leche de INIA La Estanzuela por métodos de infrarrojo medio con el equipo Bentley 2000 (Bentley Instruments Inc., Chaska, MN, EE. UU.).

Se calculó la leche corregida por sólidos (SCM) como:

$$SCM\ (kg) = 12,3(F) + 6,56\ (SNF) – 0,0752\ (M)$$

Siendo F, SNF y M: grasa, sólidos no grasa y leche respectivamente, todos expresados como kilogramos.

(Tyrrell y Reid, 1965).

Movilización de reservas corporales:

De forma quincenal se obtuvieron datos de peso vivo mediante una balanza de paso, ubicada a la salida del ordeñe matutino.

Cada 15 días se evaluó la condición corporal mediante la observación, asignándoles un valor del 1 al 5 según la escala de Edmonson y col. (1989).

Se tomaron muestras de sangre de la vena coccígea en las semanas -8,-4,-2, +2, +3,+4,+8,+16 con respecto a la fecha de parto (con un desvío de ± 4 días), para determinar la concentración de NEFA y BHB (Randox Laboratories Ltd., County Atrim, Reino Unido) por métodos colorimétricos y cinéticos, respectivamente), usando las

técnicas usadas por Morales, Fariña y Mendoza (2018). Esto se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología y Endocrinología Animal de la Facultad de Agronomía.

Análisis Estadístico

La información obtenida se analizó utilizando el paquete estadístico SAS (v.9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC). En todas las variables se utilizaron procedimientos univariados para identificar valores atípicos e inconsistencias y para verificar la normalidad de los residuos obtenidos en los modelos evaluados.

Los resultados fueron analizados con un modelo lineal mixto de medidas repetidas en el tiempo, que incluyen los efectos fijos del genotipo, la semana de medición, y las interacciones que involucran al genotipo y la semana de medición. Se usó la fecha de parto como covariable, mientras que la diferencia esperada para la progenie para la variable producción láctea (DEPL) se utilizó como efecto aleatorio sobre el resto de las variables, así como la placa de corrida para NEFA y BHB. Para las variables PV y CC se utilizó también como covariable el PV y la CC en el momento del secado respectivamente. Se evaluaron distintas estructuras de covarianza, procurando usar la que resulte en un menor valor de Akaike. Las medias serán comparadas con el test de Tukey.

RESULTADOS

Producción de leche

Las vacas H-NA presentaron una producción láctea mayor, expresada en kg de leche por día, que las vacas H-NZ (Tabla 1). La producción fue afectada por la interacción Genotipo (G) x Días (D) (Figura 1a), en las vacas H-NA se evidenció un pico de producción de leche más acentuado que el de las vacas H-NZ entre los días 35 y 49. A partir del día 84 los animales H-NZ tendieron a disminuir sus niveles productivos, mientras que las H-NA se mantuvieron más estables.

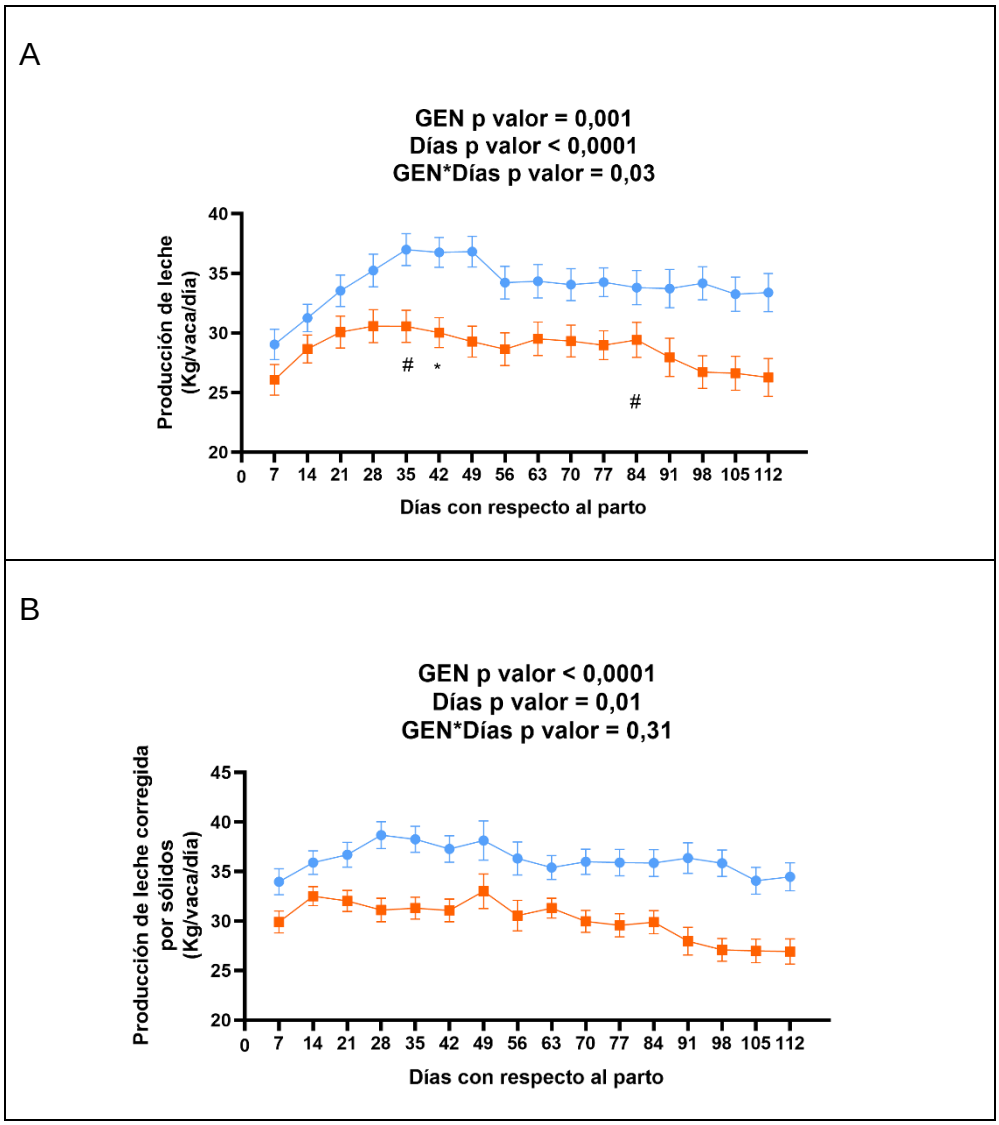


Figura 1. Producción láctea. A) Producción de leche de vacas H-NA y H-NZ durante la lactancia. **B)** Producción de leche corregida por sólidos de vacas H-NA y H-NZ durante la lactancia.

Líneas celestes representan a animales H-NA y líneas naranjas a H-NZ.

* Indica diferencias estadísticas significativas (P<0,05). # Indica tendencias estadísticas (P=0,05-0,10) entre vacas con diferente origen genético para una fecha determinada.

Además, las vacas H-NA presentaron mayor producción de leche corregida por sólidos (SCM) que las vacas H-NZ (Tabla 1). Esta variable fue afectada por los días en leche, observándose los mayores niveles entre los días 28 y 49 y los menores entre los días 105 y 112 (P = 0,02). No hubo efecto de interacción Genotipo x Días (Tabla 1, Figura 1b).

Composición de la leche

Los animales H-NZ tuvieron mayores porcentajes de grasa en leche que aquellos H-NA (Tabla 1). Las mayores concentraciones se dieron en las primeras dos semanas, para disminuir progresivamente conforme avanza la lactancia (P = 0,0009). No hubo interacción Genotipo x día para esta variable (Figura 2a).

Tabla 1- Producción y composición láctea.

Variable	H-NA [1]	H-NZ	P valor [2]		
			G	D	G*D
Producción, kg/día	34,06 ± 1,13 [a]	28,67 ± 1,13 [b]	0,001	<0,0001	0,03
SCM, kg/día	36,20 ± 0,94 [a]	30,08 ± 0,68 [b]	<0,0001	0,02	0,31
Grasa, %	4,40 ± 0,11 [b]	4,82 ± 0,11 [a]	0,01	0,0009	0,46
Grasa, kg/día	1,63 ± 0,05 [a]	1,34 ± 0,04 [b]	<0,0001	0,08	0,47
Proteína, %	3,34 ± 0,06 [b]	3,71 ± 0,05 [a]	<0,0001	0,0003	0,63
Proteína, kg/día	1,15 ± 0,03 [a]	1,03 ± 0,02 [b]	0,0008	0,02	0,04
Lactosa, %	4,88 ± 0,03	4,83 ± 0,03	0,33	0,08	0,02
Lactosa, kg/día	1,64 ± 0,05 [a]	1,37 ± 0,05 [b]	0,0003	<0,0001	0,006

Los valores están expresados como media ± desvío estándar.

[1]H-NA= vacas Holstein de origen norteamericano, H-NZ= vacas Holstein de origen neozelandés.

[2]-P valor. G= Genotipo, D= Días, G*D= Genotipo x Día.

[ab]= los valores dentro de 1 fila con diferentes superíndices difieren significativamente en P<0,05.

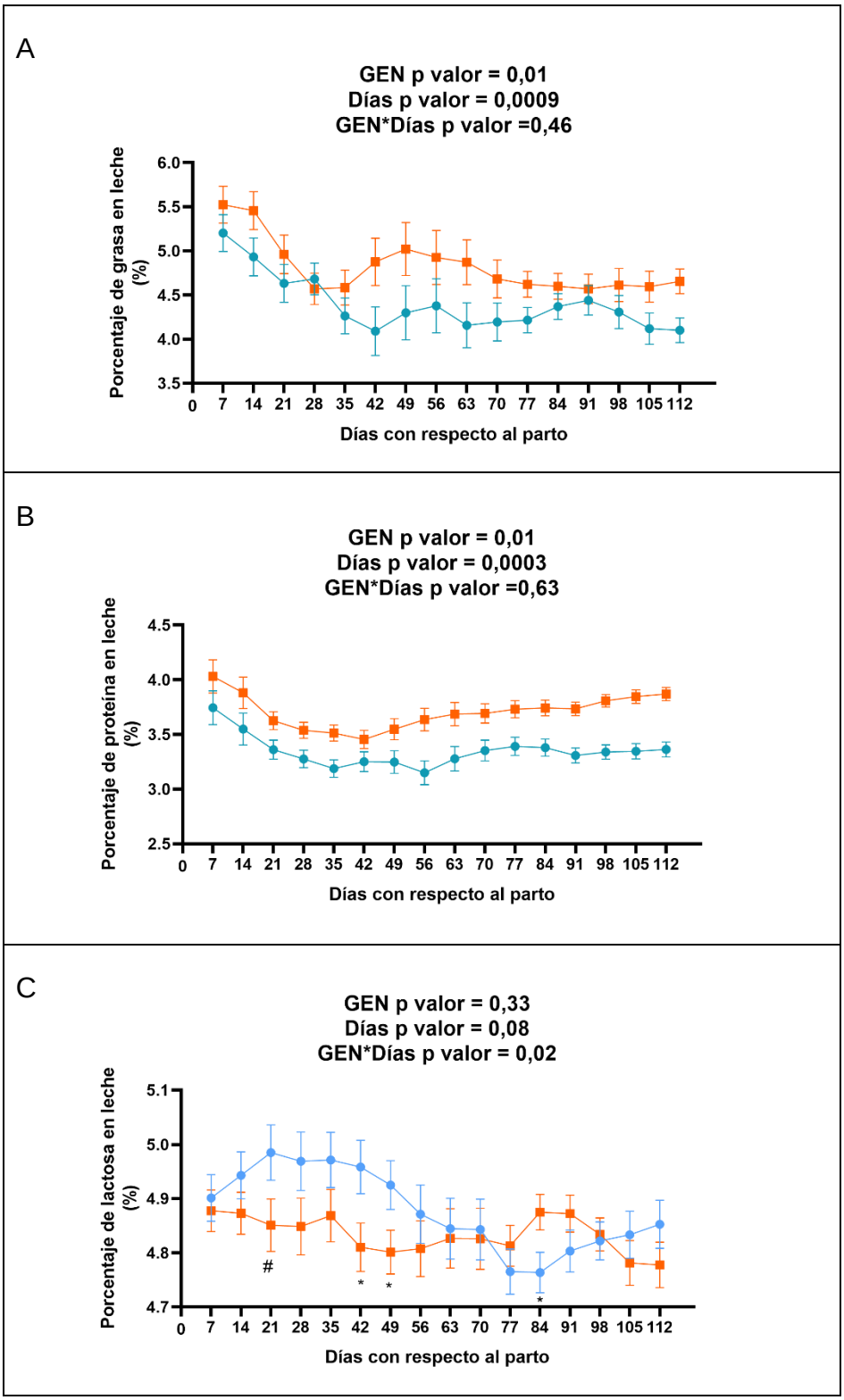


Figura 2. Contenido de sólidos en leche. A) Porcentaje de grasa en leche en vacas H-NA y H-NZ. **B)** Porcentaje de proteína en leche en vacas H-NA y H-NZ. **C)** Porcentaje de lactosa en leche en vacas H-NA y H-NZ.

Líneas celestes representan a animales H-NA y líneas naranjas a H-NZ.

* Indica diferencias estadísticas significativas (P<0,05). # Indica tendencias estadísticas (P=0,05-0,10) entre vacas con diferente origen genético para una fecha determinada.

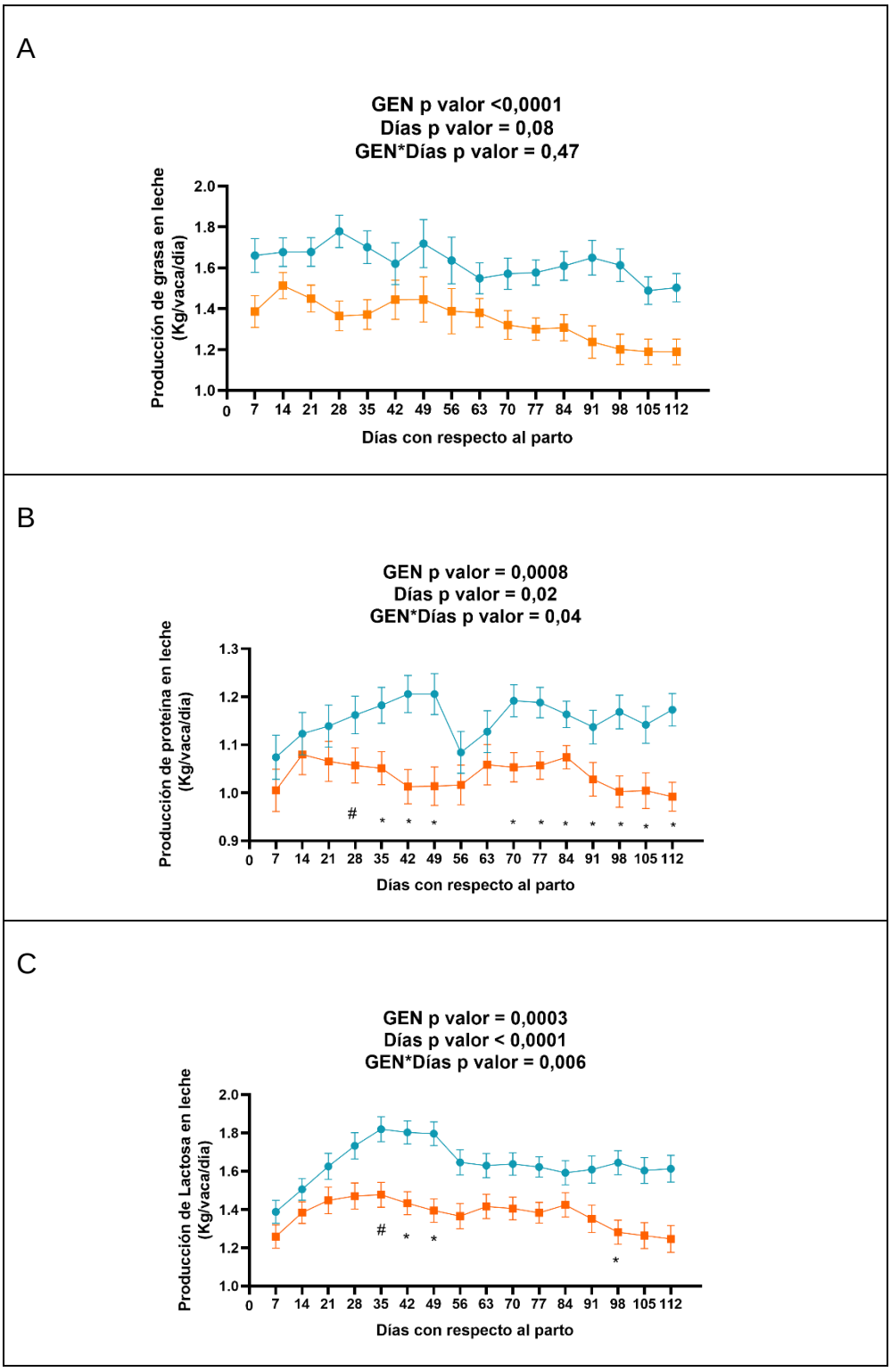


Figura 3. Producción de sólidos en leche. A) Producción de grasa de vacas H-NA y H-NZ durante la lactancia. **B)** Producción de proteína de vacas H-NA y H-NZ durante la lactancia. **C)** Producción de lactosa de vacas H-NA y H-NZ durante la lactancia.

Líneas celestes representan a animales H-NA y líneas naranjas a H-NZ.

* Indica diferencias estadísticas significativas (P<0,05). # Indica tendencias estadísticas (P=0,05-0,10) entre vacas con diferente origen genético para una fecha determinada.

Sin embargo, fueron las vacas H-NA quienes produjeron mayor cantidad de grasa en leche, expresado como kg de grasa (Tabla 1). Se observó una tendencia (P= 0,08) a que en los primeros 49 días de lactancia los animales produjeran mayor cantidad de grasa. No hubo interacción Genotipo x Días (Figura 3a).

En cuanto al contenido proteico de la leche, se encontró que las vacas H-NZ presentaron porcentajes significativamente mayores que las H-NA (Tabla 1). Por otro lado, quedó en evidencia el efecto de los días en leche, ya que la concentración de proteína disminuye paulatinamente hasta llegar a un valor mínimo a los 35 días, para posteriormente aumentar de forma progresiva (P= 0,003). No hubo efecto de la interacción Genotipo x Días (Figura 2b).

Tabla 2- Movilización de reservas corporales

	H-NA [1]	H-NZ	P valor [2]		
			G	D	GxD
Peso Vivo, kg	613,3 ± 11,3 [a]	560,1 ± 8,4 [b]	0,0004	<0,0001	0,60
CC, (1-5)	2,82 ± 0,03	2,86 ± 0,03	0,33	<0,0001	0,47
NEFA, mmol/L	0,41 ± 0,02	0,39 ± 0,02	0,87	<0,0001	0,52
BHB, mmol/L	0,87 ± 0,06	0,92 ± 0,06	0,19	<0,0001	0,35

Los valores están expresados como media ± desvío estándar.

1H-NA= vacas Holstein de origen Norteamericano. H-NZ= vacas Holstein de origen Neozelandés.

2P valor. G= Genotipo, D= Días, GxD= Genotipo x Días.

ab= los valores dentro de 1 fila con diferentes superíndices difieren significativamente en P<0,05.

La producción de proteína en leche expresada en kg, fue afectada por la interacción Genotipo x Días (Figura 3b). En vacas H-NA se dió un aumento en los kg de proteína producidos en leche hasta el día 49, mientras que en las vacas H-NZ la misma disminuyó desde el día 14 al 56. Las vacas H-NA experimentaron una caída en la producción de proteína entre los días 49 y 56, la cual luego aumentó y se mantuvo estable, mientras que las vacas H-NZ presentaron niveles de producción significativamente menores que tendieron a disminuir su producción de proteína desde el día 84 en adelante.

El contenido de lactosa en leche fue afectado por la interacción de los efectos Genotipo x Días (Figura 2c), vacas H-NA presentaron niveles significativamente mayores entre los días 42 y 49; posteriormente bajó el porcentaje a niveles inferiores a los de las vacas H-NZ, siendo significativamente menores hacia el día 84 de

lactancia. A partir del día 105, las H-NA aumentaron la concentración de lactosa en leche, la cual se ubicó en niveles numéricamente mayores que las vacas H-NZ. Por otra parte, hubo una tendencia a que los mayores niveles de lactosa fueran dentro de los primeros 35 días en leche para luego bajar paulatinamente (P=0,08). Esta variable no fue afectada por el efecto del Genotipo (Tabla 1).

La producción de lactosa (kg) en leche fue afectada por la interacción Genotipo * Días, se observa que los animales H-NA presentaron mayores producciones, se evidenció una curva con un pico más acentuado entre los días 35 y 49 en leche; que luego descendió y se mantuvo estable mientras duró el periodo estudiado. En cambio, las vacas H-NZ no presentaron ese pico de producción. (Figura 3c).

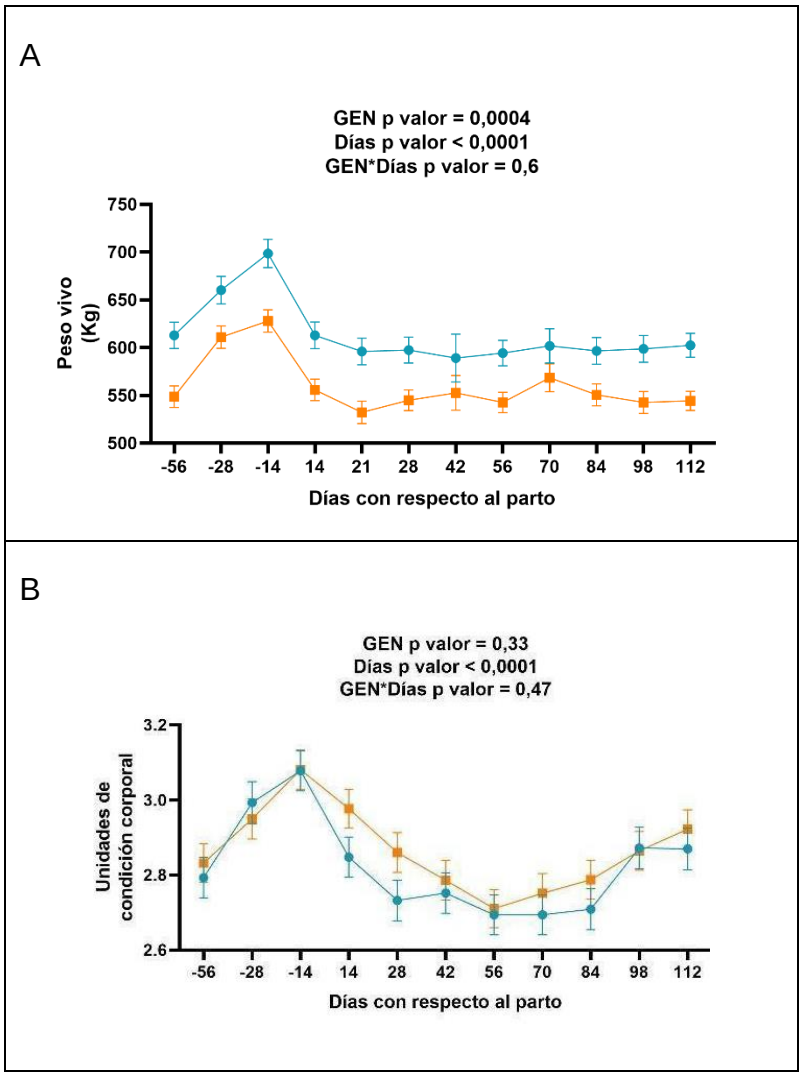


Figura 4. Indicadores de movilización de reservas corporales. A) Evolución del Peso vivo en vacas H-NA y H-NZ. **B)** Evolución de la condición corporal en vacas H-NA y H-NZ.

Líneas celestes representan a animales H-NA y líneas naranjas a H-NZ.

* Indica diferencias estadísticas significativas (P<0,05). # Indica tendencias estadísticas (P=0,05-0,10) entre vacas con diferente origen genético para una fecha determinada.

Movilización de reservas corporales

El peso vivo reportado fue mayor en vacas H-NA que H-NZ (Tabla 2). Desde el momento del secado hasta los 14 días preparto este aumentó llegando a su valor máximo, a partir del cual disminuyó para mantenerse constante hasta el día 112 de lactancia (P= 0,0004). No hubo interacción Genotipo x Días (Figura 4a).

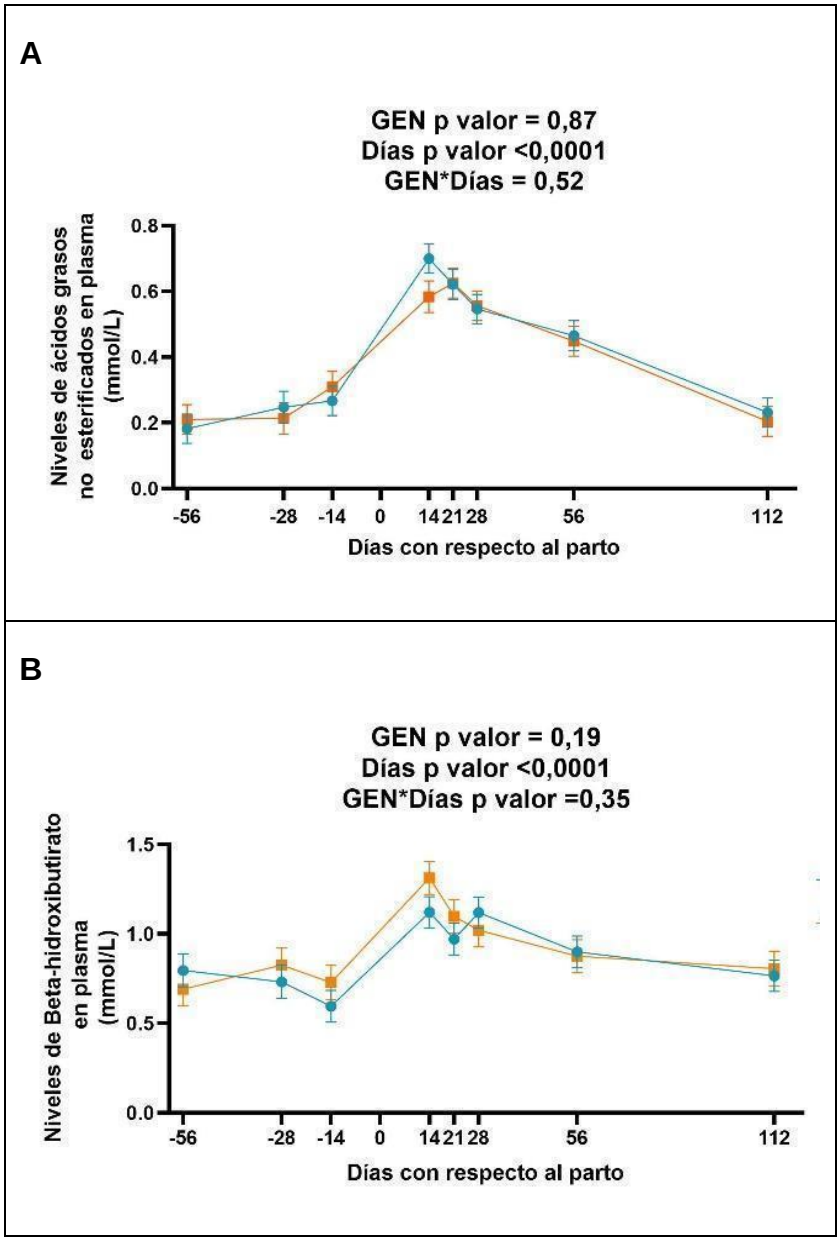


Figura 5. Metabolitos indicadores de movilización de reservas corporales. A) Niveles de ácidos grasos no esterificados (NEFA vacas H-NA y H-NZ. **B)** Niveles de Beta hidroxibutirato (BHB) en vacas H-NA y H-NZ.

Líneas celestes representan a animales H-NA y líneas naranjas a H-NZ.

^{abcd}= letras indican diferencias significativas (P<0,05) entre diferentes días con respecto al parto.

La condición corporal de las vacas aumentó desde el momento de secado hasta el día -14 con respecto a parto, momento en el que alcanzó su valor máximo; alcanzó el nadir hacia el día 56 en leche. A partir de ahí las vacas recuperaron condición corporal de forma progresiva conforme avanza la lactancia (P<0,0001). Esta variable no fue afectada por el efecto del Genotipo ni por la interacción Genotipo x Días (Tabla 2, Figura 4b).

Los niveles de NEFA en plasma aumentaron desde el día -56 al -14 de forma progresiva. Entre los días -14 y 14 se produjo un aumento marcado de este metabolito que se mantuvo en los mayores valores hasta el día 28; a partir de ahí disminuyó y llegó en el día 112 a concentraciones similares a los reportados en el momento del secado (P< 0,0001). Los dos grupos de vacas presentaron niveles de NEFA similares y no hubo efecto por la interacción Genotipo x Días (Tabla 2, Figura 5b).

Los niveles de beta-hidroxibutirato fueron afectados por el efecto de los días en leche, presentaron las concentraciones más bajas desde el día -56 al -14 con respecto al parto; a partir de ahí se registró un aumento llegando a los máximos valores entre el día 14 y 28. A partir de este momento su concentración desciende hasta llegar al día 112 a niveles similares a los del secado (P<0,0001). Este metabolito no fue afectado por el Genotipo ni por la interacción Genotipo x Días (Tabla 2, Figura 5b).

DISCUSIÓN

Las vacas H-NA tuvieron una mayor producción láctea, expresada en kg de leche por día, con picos de producción significativamente mayores que las vacas H-NZ entre los días 35 y 42 con respecto al parto y diferencias de hasta 6,7 kg/d. A su vez los animales H-NZ disminuyeron su producción a partir del día 84, dejando en evidencia la mayor persistencia en la lactancia de las H-NA. Por otra parte, la leche corregida por sólidos fue mayor en vacas H-NA, expresando ambos grupos de animales curvas de producción similares. Estos resultados coinciden con diferentes autores como Buckley, Dillon, Rath y Veerkamp, (2000), Horan et al., (2005a), Roche et al., (2006) y Stirling et al., (2021) los cuales reportan que en sistemas pastoriles con diferentes grados de suplementación los animales H-NA producen mayor volumen de leche, con menor concentración de sólidos, pero mayor producción total de proteína, grasa y lactosa en leche que las vacas H-NZ.

Esto se puede explicar porque los animales H-NA han sido seleccionados durante años por su alta producción de leche (Fulkerson et al., 2008) la cual es considerada una característica de alta heredabilidad (Evans, Buckley, Dillon y Veerkamp, 2002); mientras que en Nueva Zelanda uno de los criterios de selección fue la mayor concentración de sólidos por su importancia para la industria (Harris y Kolver, 2001).

En los resultados para producción de proteína en leche las vacas H-NA se vio una brusca caída en el día 56, esto pudo haberse dado por alguna diferencia puntual del aporte de nitrógeno en la dieta en ese momento de la lactancia, más que nada por variaciones en las pasturas atribuido a factores climáticos o propios de la fertilización, o un menor aporte de energía consumida (Bargo, Muller, Delahoy y Cassidy, 2002). Sin embargo, la dispersión de los partos rondaba los 90 a 120 días, por lo cual es difícil señalar un momento puntual del experimento en el que el metabolismo nitrogenado del grupo H-NA estuviera afectado e hiciera descender la producción de proteína. Además, cabe destacar que el diseño experimental original no se centraba en el metabolismo animal, sino que era un estudio de sistemas productivos en donde la unidad experimental era el grupo de vacas.

En el caso del porcentaje de lactosa en leche, fue mayor en las vacas H-NA entre los días 42 y 49, coincidiendo con el pico de producción de lactosa en este grupo de animales. Además, hubo una mayor producción de lactosa total en kg por parte de las vacas H-NA, similar a lo reportado por Horan et. al., (2005a); Roche et al., (2006), Sheahan, Kolver y Roche, (2011); Stirling et. al., (2021). Es el único sólido que expresó porcentajes a favor de las vacas H-NA y esa supremacía se da solo hasta alcanzar el pico de producción de leche. Varios autores explican estas diferencias por la mayor capacidad de las vacas H-NA de movilizar reservas corporales en sistemas pastoriles, resultando en un mayor aporte de precursores para la neoglucogénesis que aseguran el mayor drenaje de glucosa hacia la glándula mamaria y por consiguiente mayor producción de lactosa, componente osmótico, explicando parte del volumen de leche extra producido en comparación con los animales H-NZ en el mismo sistema productivo (McCarthy et al., 2007, Roche et. al. 2006). En nuestro caso la movilización corporal no tuvo diferencias significativas entre genotipos, lo que nos sugiere que las vacas H-NA tienen mecanismos moleculares distintos para alcanzar los picos de producción de leche, entre ellos el de aumentar la actividad de la vía gluconeogénica, ya sea aumentando los sustratos o la actividad enzimática (Garcia-Roche et al., 2022).

Las vacas H-NA fueron significativamente más pesadas, lo cual coincide con varios autores revisados (Horan et. al., 2005a; McCarthy et. al., 2007; Roche et. al., 2006; Chagas et. al., 2009; Stirling et. al., 2021), esto se debe al resultado de los programas de selección reportados en Nueva Zelanda a favor de vacas más livianas (Harris y Kolver, 2001; Berry, Horan y Dillon, 2005). En todos los animales se reportó un aumento de peso durante el periodo seco hasta el parto (-56 a -14 días), lo cual se explica en parte por el aumento del peso y tamaño del feto y sus membranas fetales (Reynolds 1990); pero en parte también puede ser explicado por un depósito de reservas corporales empaquetada como grasa en ambos grupos de vacas ya que al observar las gráficas de evolución de la condición corporal se comportan de igual manera que el peso vivo en este periodo de tiempo. Autores como Kirovski y Sladojevic, 2017 recomienda que entre el momento del secado y el parto los animales no pierdan ni ganen CC, diferente a lo que ocurrió durante el experimento, a la vez que el nivel de CC es menor al deseado en el momento del secado; lo ideal es que ronde puntuaciones de 3,25 a 3,5.

El descenso de peso luego del parto encontrado coincide con autores como McCarthy et al., (2007) y Roche et al., (2006) y está relacionado a la movilización de reservas durante el BEN de lactancia temprana.

La movilización de reservas corporales evidenciada a través de la evolución de la CC y las concentraciones de NEFA y BHB sanguíneo durante el post parto coincide con diferentes reportes nacionales como Meikle et al., (2004), Cavestany et al., (2005) y Adrien (2010). Se dio un marcado descenso de la CC en la lactancia temprana que es sucedido y acompañado por el correspondiente aumento de los niveles de NEFA y BHB en sangre que se mantienen en los niveles más altos hasta los 28 días post parto, asociado al momento de balance energético negativo más severo que permite sostener la mayor producción láctea de la lactancia temprana.

Es preciso señalar que las vacas de este ensayo atravesaron el pre parto y parieron en una condición subóptima, se observa como ambos grupos superan escasamente los 3 puntos de CC, lo cual viene de la mano con una movilización de reservas excesiva luego del parto en ambos grupos por igual con niveles de NEFA que llegan a ser mayores a 0,6 mmol/L y de BHB iguales o mayores a 1,2 mmol/L; niveles asociados a condiciones no deseadas como hígado graso y cetosis subclínica (Kirovski y Sladojevic, 2017)

No se encontraron diferencias significativas en los registros de CC ni en los valores obtenidos para NEFA y BHB entre los dos genotipos ni en la interacción Genotipos*Días, lo que deja en evidencia que ambos grupos de vacas movilizaron reservas corporales de forma similar. Este resultado difiere de lo que hubiéramos esperado y contrasta con los reportes de diversos trabajos en los que vacas H-NA durante el periodo de transición y la lactancia temprana entran en un balance energético más negativo y tienen una mayor movilización de reservas corporales, lo cual se traduce en una mayor pérdida de la condición corporal luego del parto y un mayor nivel de los metabolitos sanguíneos NEFA y BHB producto de dicha movilización (Buckley et al., 2000; Horan et al., 2005a; McCarthy et al., 2007; Roche et al., 2006).

Esta ausencia de diferencia estadística entre genotipos para estas variables responde al diseño experimental en el que se enmarca esta tesis de grado. En los estudios reportados anteriormente, las vacas con diferente mérito genético eran manejadas en

sistemas pastoriles con diferente asignación de concentrado, independientemente del nivel de producción. A los diferentes grupos de animales en Horan et al., 2005a y McCarthy et al., 2007 se les asignó 0 y 3,7 Kg MS/vaca/día de concentrado, mientras que en Roche et al., 2006 0, 3 y 6 Kg MS/vaca/día. La asignación del nivel de concentrado fue independiente del origen genético, lo cual contribuyó a que las vacas H-NA produjeran más leche debido al mérito genético por el cual fueron seleccionadas, a la vez que movilizaban mayor cantidad de reservas corporales que las H-NZ, ya que el aporte de nutrientes no contemplaba la diferencia entre ambos genotipos en cuanto a la capacidad de consumo y producción.

En nuestro caso, el objetivo productivo era a nivel de rodeo: que cada combinación de tratamientos produjera más de 1000 kg de sólidos/há VM, y consumiera más de 10.000 Kg MS de forraje, para lo cual en el diseño intervienen otras variables como carga animal. Pero a nivel de la formulación de la dieta referido a la vaca como unidad, se hacía en función del potencial de producción de cada genotipo, etapa de lactancia y del crecimiento de la plataforma de pastoreo, en el período estudiado el consumo promedio de concentrado fue de 6,6 Kg de MS/vaca/d para H-NZ y de 7,7 Kg MS/vaca/día en H-NA.

García-Roche et al., (2023) tampoco encontró diferencias significativas en cuanto a la movilización de reserva corporales entre animales al evaluar el contenido de triacilglicéridos de las vacas del proyecto 10-MIL el año anterior al que se realizaron las mediciones de la presente tesis de grado. Esto reafirma que tener en cuenta los factores relacionados al genotipo animal a la hora de la formulación de las dietas fue el responsable de que no hubiese diferencias significativas entre ambos grupos de animales en lo que respecta a movilización de reservas corporales en el marco del período de tiempo estudiado. Ambos grupos de animales desarrollan mecanismos homeoréticos y adaptan su metabolismo de forma similar para mantener altos niveles de producción láctea con altos niveles de inclusión de pastura directamente cosechada en su dieta.

CONCLUSIONES

Los animales H-NZ produjeron leche con mayor contenido de proteína y grasa que las vacas H-NA, mientras que el contenido de lactosa fue mayor en las H-NA únicamente durante el pico de lactancia. Por otra parte, las vacas H-NA fueron las que produjeron mayor cantidad de leche, sólidos totales y leche corregida por sólidos con respecto a los animales H-NZ. Ambos grupos de animales presentaron igual nivel de movilización de las reservas corporales, evidenciada en la pérdida de peso y condición corporal, y el aumento de NEFA y BHB, debido a que durante el diseño experimental la formulación de la dieta se realizó ponderando, entre otras variables, el potencial de producción de cada genotipo. Esto permitió que la mayor producción de leche por parte de las vacas H-NA fuese por el mérito genético de estos animales, y no por una mayor movilización de sus reservas corporales.

BIBLIOGRAFÍA

Adrien, M.L. (2010). *Regulación nutricional del estado corporal al inicio del periodo de transición en vacas lecheras en condiciones de pastoreo: efectos sobre producción de leche, reinicio de la ciclicidad ovárica posparto y parámetros metabólicos* (Tesis de maestría). Facultad de Veterinaria, UdelaR, Montevideo.

Bargo, F., Muller, L.D., Delahoy, J.E., Cassidy, T.W. (2002). Performance of High Producing Dairy Cows with Three Different Feeding Systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, 85, 2948-2963.

Bauman, D.E., y Currie, B. (1980). Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation : A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science*, 63,1514-1529.

Bell, A.W., Burhans, W.S., y Overton, T.R. (2000). Protein nutrition in late pregnancy, maternal protein reserves and lactation performance in dairy cows. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59,119-126.

Bentancor, M. (2020). *Interacción entre el sistema endócrino-metabólico e inmune en vacas lecheras durante el periparto* (Tesis de maestría). Facultad de Veterinaria, UdelaR, Montevideo.

Berry, D.P., Horan, B., y Dillon, P.G. (2005). Comparison of growth curves of three strains of female dairy cattle. *Animal Science*, 80,151-160.

Buckley, F., Dillon, P., Rath, M., y Veerkamp, R. (2000). The relationship between genetic merit for yield and live weight, condition score, and energy balance of spring calving holstein friesian dairy cows on grass based systems of milk production. *Journal of Dairy Science,* 83,1878-1886.

Cavestany, D., Blanc, J.E., Kulcsar, M., Uriarte, G., Chilibroste, P., Meikle, A., … Krall, E. (2005). Studies of the Transition Cow Under a Pasture-based Milk Production System: Metabolic Profiles. *Journal of Veterinary Medicine,* 52(A), 1-7.

Chagas, L.M., Lucy, M.C., Back, P.J., Blache, D., Lee, J.M., Gore, P.J.S., y Roche, J.R. (2009). Insulin resistance in divergent strains of Holstein-Friesian dairy cows offered fresh pasture and increasing amounts of concentrate in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 92(1), 216-222.

Chilliard, Y. (1999). Metabolic adaptations and nutrient partitioning in the lactating animal. En INRA (Ed.), *Biology of Lactation*. (pp. 503-552). Paris: INRA Editions.

Chilibroste, P., Soca, P., y Mattiauda, D.A. (2011). Balance entre oferta y demanda de nutrientes en sistemas pastoriles de producción de leche: potencial de intervención al inicio de la lactancia. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornada Uruguaya de Buiatría* (Vol. XV, pp. 91-97). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.

Chilibroste, P., Soca, P., y Mattiauda, D. (2012). Estrategias de alimentación en Sistemas de Producción de Leche de base pastoril. En *Pasturas 2012: Hacia una ganadería competitiva y sustentable* (pp. 91-100). Balcarce: INTA.

Chilibroste, P., y Fariña, S. (2019). Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: The case of farm systems in Uruguay. *Agricultural*

Systems, 176, 102631.

Dillon, P., Berry, D. P., Evans, R. D., Buckley, F., y Horan, B. (2006). Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture based systems of milk production. *Livestock Science*, 99(2-3), 141-158.

Drackley, J.K. (1999). Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier?. *Journal of Dairy Science*, 82(11), 2259-2273.

Drackley, J.K., Overton, T.R., y Douglas, G.N. (2001). Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science*, 84,100-112.

Edmonson, A.J., Lean, I.J., Weaver, L.D., Farver, T., y Webster, G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science,* 72(1), 68-78.

Evans, R.D., Buckley, F., Dillon, P., y Veerkamp, R.F. (2002). Genetic parameters for production and fertility in spring-calving Irish dairy cattle. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 41,43-54.

Evans, R.D., Dillon, P., Buckley, F., Wallace, M., Ducrocq, M., y Garrick, D.J. (2004). Trends in milk production, fertility and survival of Irish dairy cows as a result of the introgression of Holstein-Friesian genes. En *Proceedings of the Agricultural Research Forum*, Tullamore.

Evans, R.D., Dillon, P., Buckley, F., Berry, D.P., Wallace, M., Ducrocq, V., y Garrick, D. J. (2006). Trends in milk production, calving rate and survival of cows in 14 Irish dairy herds as a result of the introgression of Holstein-Friesian genes. *Animal Science*, 82(4), 423-433.

Fariña, S., Tuñón, G., Pla, M., y Martínez, R. (2017). *Sistema de pastoreo, La Estanzuela*. La Estanzuela: INIA.

Fariña, S.R., y Chilibroste, P. (2019). Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: The case of farm systems in Uruguay. *Agricultural Systems*, 176, 102631.

Fulkerson, W.J., Davison, T.M., Garcia, S.C., Hough, G., Goddard, M.E., Dobos, R., y Blockey, M. (2008). Holstein-Friesian dairy cows under a predominantly grazing system: interaction between genotype and environment. *Journal of Dairy Science*, 91(2), 826-839.

García-Roche, M., Talmón, D., Cañibe, G., Astessiano, A.L., Mendoza, A., Cassina, A., … Carriquiri, M. (2023). Hepatic metabolism of grazing cows of two Holstein strains under two feeding strategies with different levels of pasture inclusion. *PLOS ONE,* 18(10), e0290551.

García-Roche, M., Talmón, D., Cañibe, G., Astessiano, A.L., Mendoza, A., Quijano, C., …Carriquiri, M. (2022). Differential hepatic mitochondrial function and gluconeogenic gene expression in 2 Holstein strains in a pastured-based system. *Journal of Dairy Science*, 105(7), 5723-5737.

Grummer, R. R. (1995). Impact of changes in organic nutrient metabolism feeding the transition dairy cow. *Journal of Animal Science*, 73(9) 2820-2833.

Hansen, L. B. (2000) Symposium: Selection for milk yield Consequences of Selection for Milk Yield from a Geneticist's Viewpoint. *Journal of Dairy Science*, 83,1145-

1150.

Harris, B. L., y Kolver, E. S. (2001). Review of Holsteinization on intensive pastoral dairy farming in New Zealand. *Journal of Dairy Science*, 84, E56-E61.

Horan, B., Dillon, P., Faverdin, P., Delaby, L., Buckley, F., y Rath, M. (2005a). The interaction of strain of Holstein-Friesian cows and pasture-based feed systems on milk yield, body weight, and body condition score. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 1231-1243.

Horan, B., Mee, J. F., O'Connor, P., Rath, M., y Dillon, P. (2005b). The effect of strain of Holstein-Friesian cow and feeding system on postpartum ovarian function, animal production and conception rate to first service. *Theriogenology*, 63(3), 950-971.

Horan, B., Mee, J. F., Rath, M., O'Connor, P., y Dillon, P. (2004). The effect of strain of Holstein-Friesian dairy cow and feeding system on reproductive performance in seasonal calving milk production systems. *Animal Science,* 79(4), 453-467.

Instituto Nacional de la Leche. (2019). *Encuesta Lechera INALE 2019*. Resultados definitivos. Recuperado dehttps://www.inale.org/estadisticas/encuesta-lechera-2019-resultados-definitivos/.

Kirovski, D. y Sladojevic, Z. (2017). Prediction and Diagnosis of Fatty Liver in Dairy Cows. *Journal of Gastroenterology & Hepatology,* 3(1): 1005.

McCarthy, S., Berry, D.P., Dillon, P., Rath, M., y Horan, B. (2007). Influence of Holstein Friesian strain and feed system on body weight and body condition score lactation profiles. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 1859-1869.

Meikle, A., Kulcsar, M., Chilliard, Y., Febel, H., Delavaud, C., Cavestany, D., y Chilibroste, P. (2004). Effects of parity and body condition at parturition on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction*, 127, 727-737.

Miglior, F., Fleming, A., Malchiodi, F., Brito, L.F., Martin, P., y Baes, C.F. (2017). A 100- Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100, 10251-10271.

Morales, J.T., Fariña, S.R., y Mendoza, A. (2018). Effects of parity on productive, reproductive, metabolic and hormonal responses of Holstein cows. *Animal Reproduction Science*, 191, 9-21.

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2021). *Anuario estadístico agropecuario 2021*. Recuperado de https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2021

Oficina de Programación y Política Agropecuaria. (2022). *Cadena Láctea: situación y perspectivas*. Recuperado de https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2022/analisis-sectorial-cadenas-productivas/cadena-lactea.

Pereira, I., Laborde, D., Carriquiry, M., López-Villalobos, N., y Meikle, A. (2010). Blood metabolic profiles in Uruguayan Holstein and Uruguayan Holstein x New Zealand Holstein-Friesian dairy cows. *Proceedings New Zealand Society of Animal Production*, 70, 311-315.

Rauw, W.M., Kanis E., Noordhuizen-Stassen E.N., y Grommers F.J. (1998).

Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: A review. *Livestock Production Science,* 56,15-33.

Reynolds, L.P., Millaway, D.S., Kirsch, J.D., Infeld, J.E., y Redmer, D.A. (1990). Growth and in vitro metabolism of placental tissues of cows from Day 100 to Day 250 of gestation. *Reproduction*, 89, 213-222.

Roche, J.R., Berry, D.P., y Kolver, E.S. (2006). Holstein-Friesian strain and feed effects on milk production, body weight, and body condition score profiles in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89(9), 3532-3543.

Sheahan, A.J., Kolver, E.S., y Roche, J.R. (2011). Genetic strain and diet effects on grazing behavior, pasture intake, and milk production. *Journal of Dairy Science,* 94, 3583-3591.

Stirling, S., Delaby, L., Mendoza, A., y Fariña, S. (2021). Intensification strategies for temperate hot-summer grazing dairy systems in South America: Effects of feeding strategy and cow genotype. *Journal of Dairy Science*, 104, 12647-12663.

Tamminga, S., Luteijn, P. A., y Meijer, R. (1997). Changes in composition and energy content of live weight loss in dairy cows with time after parturition. *Livestock Production Science,* 52, 31-39.

Tyrrell, H.F., y Reid, J.T. (1965). Prediction of the energy value of cow´s milk. *Journal of Dairy Science*, 48(9), 1215-1223.

VandeHaar, M.J., Armentano, L.E., Weigle, K., Spurlock, D.M., Tempelman, R.J., y Veerkamp, R. (2016). Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency. *Journal of Dairy Science*, 99 (6), 4941-4954.

Wood, P.D.P. (1967). Algebraic model of the lactation curve in cattle*. Nature*, 216,164-165.