

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**PERFIL METABÓLICO Y PARÁMETROS
REPRODUCTIVOS DE VACAS HOLSTEIN EN SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN DE LECHE PASTORILES CON
DIFERENTE ÉPOCA DE PARTO**

Karen Cruz Freitas

TESIS DE MAESTRÍA EN REPRODUCCIÓN ANIMAL

URUGUAY

2026

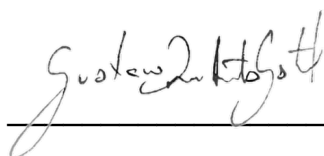
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados – Maestría en Reproducción Animal

**PERFIL METABÓLICO Y PARÁMETROS
REPRODUCTIVOS DE VACAS HOLSTEIN EN SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN DE LECHE PASTORILES CON
DIFERENTE ÉPOCA DE PARTO**

Karen Cruz Freitas



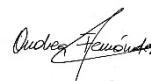
Gustavo Gastal

Director de tesis



Gretel Ruprecht

Codirectora



Andrea Fernandez

Codirectora

INTEGRACIÓN DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

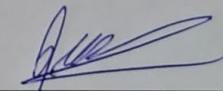
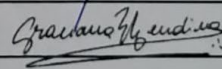
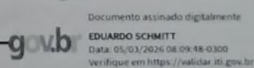
ACTA DE DEFENSA DE TESIS DE MAESTRIA

Materia: 10002 TESIS DE MAESTRIA	Orientación: Reproducción Animal.
Período: 2026	
Fecha evaluación: 27/02/2026	Hora: 09:00 Lugar: Virtual

Tribunal: Presidente: Joaquín Barca 2º Integrante: Graciana Mendina 3º Integrante: Eduardo Schmitt

C.I.	Nombre	Concepto	Nota
6636335-1	KAREN CRUZ FREITAS	BUENO	7

Nota: La calificación mínima para aprobar la defensa es Aceptable (A)

TRIBUNAL	FIRMA
Joaquín Barca	
Graciana Rodrigues Mendina	
Eduardo Schmitt	

Documento assinado digitalmente
EDUARDO SCHMITT
Data: 05/03/2026 08:09:48-0300
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

2026

ACTA DE DEFENSA DE TESIS

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que siempre fue y seguirá siendo mi base. Gracias por el apoyo incondicional, el acompañamiento constante y la confianza, incluso cuando ese camino me llevó a vivir lejos de casa, como en esta etapa de posgrado en Uruguay.

A mis amigos, que supieron aguantar mis dramas, el estrés, la falta de tiempo y las ausencias. En especial a Inês Moura, Andreza Anjos y João Nunes, que me acompañan desde hace años y siguen estando presentes en cada etapa. También a los amigos que encontré en el camino de la maestría: Diego Ubios, mi primer amigo en Uruguay, con quien además comparto este proyecto, e Ines Casaretto, mi colega de oficina, por el apoyo diario, el compañerismo y el aguante en la rutina.

A mi novio, Nicolás Morales, por ser un apoyo fundamental durante todo este proceso. Aunque no forme parte directa de mi mundo de la veterinaria y investigación, siempre estuvo dispuesto a escucharme, tanto en los logros como en los momentos difíciles. Gracias por la paciencia, por bancar mis llantos, por compartir los sacrificios para que esta tesis pudiera terminarse, y por estar presente, con amor y compañerismo, en cada paso del día a día.

Finalmente, a mis tutores, Gustavo presente desde antes del día 1 de esa tesis, y también a mis cotutoras, Gretel y Andrea, por el acompañamiento, la paciencia y el apoyo durante todo el proceso, y especialmente por saber lidiar con mi ansiedad para que esta tesis finalmente pudiera ver la luz.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	iv
SUMMARY	vi
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS	viii
1. INTRODUCCIÓN	10
2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS	11
Período de transición: balance energético negativo y condición corporal.....	11
Adaptaciones metabólicas en el periparto - Marcadores energéticos y minerales.....	12
Adaptaciones metabólicas en el periparto - Marcadores hepáticos y proteicos.....	14
Enfermedades del periparto	15
Consecuencias de una mala adaptación metabólica sobre la reproducción.....	16
Implicancia de la concentración y la época de parto en sistemas pastoriles.....	17
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
HIPÓTESIS	20
OBJETIVOS.....	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos	21
4. ESTRATÉGIA DE LA INVESTIGACIÓN	22
5. MATERIALES Y MÉTODOS	23
Animales, alimentación y manejo de ordeño.....	23
Producción y composición de leche.....	26
Peso individual.....	27
Monitoreo del período de transición.....	27
Condición corporal:.....	27
Determinación de pH en orina:	27
Registros del parto:.....	27

Temperatura corporal:	28
Medición de las cetonas y diagnóstico de cetosis por sangre y orina:	28
Diagnóstico de mastitis:	28
Diagnóstico de metritis:	29
Enfermedades clínicas y subclínicas generales:.....	29
Colectas de sangre.....	29
Manejo reproductivo.....	30
Perfil metabólico.....	30
Análisis estadísticos.....	31
6. RESULTADOS.....	32
Producción y composición de leche.....	32
Peso corporal.....	37
Condición corporal.....	37
pH urinario.....	38
Ocurrencia de enfermedades.....	38
Indicadores reproductivos.....	38
Perfil Metabólico	40
7. DISCUSIÓN.....	50
8. CONCLUSIONES	53
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la época de parto (otoño: OTO –marzo-mayo, invierno: INV –junio-agosto y extendido: EXT – marzo-octubre) sobre el perfil metabólico durante el periparto, la ocurrencia de enfermedades y el desempeño reproductivo de vacas Holstein en sistemas lecheros pastoriles. El experimento se desarrolló en la Estación Experimental INIA La Estanzuela (Colonia, Uruguay) durante los años 2023 y 2024, utilizando 60 vacas Holstein de origen genético neozelandés, asignadas aleatoriamente a tres tratamientos (OTO, INV y EXT) según la época de parto ($n = 20$ por grupo/año). El manejo alimenticio, sanitario y reproductivo fue estandarizado para todos los tratamientos. Se evaluaron la producción y composición de leche durante los primeros 100 días de lactancia, el peso corporal, el score de condición corporal, el pH urinario preparto y la ocurrencia de enfermedades clínicas y subclínicas del periparto. Asimismo, se realizaron determinaciones de metabolitos energéticos (β -hidroxibutirato, ácidos grasos no esterificados, glucosa y colesterol), minerales (calcio, fósforo y magnesio) y parámetros asociados a la función hepática y proteica (AST, GGT, albúmina, proteínas totales y urea) en momentos estratégicos del periparto y del posparto temprano. Los indicadores reproductivos incluyeron ciclicidad ovárica, número de servicios por preñez, pérdidas gestacionales, intervalo parto–primer servicio, intervalo parto–concepción y tasas de concepción. Los datos se analizaron utilizando el software estadístico R versión 4.4.1, mediante modelos estadísticos mixtos para medidas repetidas y pruebas no paramétricas cuando correspondió, considerando diferencias significativas con $p < 0,05$ y tendencias estadísticas cuando $0,05 \leq p < 0,10$. Las vacas que parieron en INV presentaron mayor producción promedio de leche durante los primeros 100 días de lactancia ($p < 0,001$). La composición de la leche mostró diferencias entre grupos y años ($p < 0,05$), destacándose mayores concentraciones de proteína ($p < 0,001$) y lactosa ($p < 0,05$) en el grupo OTO. En relación con el recuento de células somáticas, los resultados fueron contrastantes entre años. Se detectaron mayores concentraciones de β -hidroxibutirato en leche en el grupo EXT y menores valores de nitrógeno ureico en leche en el grupo INV. En cuanto al perfil metabólico sanguíneo, se observaron diferencias asociadas a la época de parto y momentos fisiológicos en algunos metabolitos energéticos (mayor concentración de BHB en el grupo OTO y NEFA en el grupo EXT; $p < 0,05$) y minerales durante el periparto y el posparto temprano ($p < 0,05$), sin evidenciarse alteraciones compatibles con un mayor riesgo metabólico entre los tratamientos, dado que

no todos superaron umbrales compatibles con desórdenes metabólicos clínicos. No se observaron diferencias significativas entre grupos en el peso corporal, el score de condición corporal ni en la incidencia global de enfermedades del parto. En relación con la reproducción, el intervalo parto–primer servicio fue menor en los grupos INV y EXT respecto al OTO ($p < 0,05$), sin observarse diferencias significativas en los demás indicadores reproductivos. En conclusión, la época de parto influyó sobre el desempeño productivo y algunos indicadores metabólicos sin afectar la incidencia general de enfermedades del parto y los parámetros reproductivos.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effect of calving season (autumn: AUT, March to May; winter: WIN, June to August; and extended: EXT, March to October) on periparturient metabolic profile, disease occurrence, and reproductive performance of Holstein cows in pasture-based dairy systems. The experiment was conducted at the INIA La Estanzuela Experimental Station (Colonia, Uruguay) during 2023 and 2024, using 60 Holstein cows of New Zealand genetic origin randomly assigned to 3 treatments according to calving season (AUT, WIN, and EXT; $n = 20$ cows per group/year). Nutritional, health, and reproductive management were standardized across treatments. Milk yield and composition during the first 100 d of lactation, body weight, body condition score, prepartum urinary pH, and the occurrence of clinical and subclinical periparturient diseases were recorded. Blood concentrations of energy metabolites (β -hydroxybutyrate [BHB], nonesterified fatty acids [NEFA], glucose, and cholesterol), minerals (calcium, phosphorus, and magnesium), and indicators of hepatic and protein metabolism (AST, GGT, albumin, total protein, and urea) were determined at strategic time points during the periparturient and early postpartum periods. Reproductive performance was assessed through ovarian cyclicity, number of services per conception, pregnancy losses, calving-to-first-service interval, calving-to-conception interval, and conception rate. All data were analyzed using mixed models for repeated measures and nonparametric tests when appropriate (R software, version 4.4.1). Statistical significance was declared at $p < 0.05$, and tendencies were considered at $0.05 \leq p < 0.10$. Cows calving in WIN exhibited greater average milk yield during the first 100 d of lactation compared with AUT and EXT cows ($p < 0.001$). Milk composition differed among calving seasons and years ($p < 0.05$), with greater milk protein ($p < 0.001$) and lactose concentrations ($p < 0.05$) observed in AUT cows. The somatic cell count responses differed between years. Higher milk BHB concentrations were detected in EXT cows, whereas lower milk urea nitrogen concentrations were observed in WIN cows. Regarding blood metabolic profile, calving season and physiological stage affected selected energy metabolites and minerals during the periparturient and early postpartum periods ($p < 0.05$). Specifically, higher blood BHB concentrations were observed in AUT cows, whereas higher NEFA concentrations were detected in EXT cows; however, metabolite concentrations did not consistently exceed thresholds associated with clinical or subclinical metabolic disorders. No differences were observed among treatments for body weight, body condition score, or overall incidence of periparturient diseases. From a reproductive standpoint, the

calving-to-first-service interval was shorter for WIN and EXT cows compared with AUT cows ($p < 0.05$), whereas no differences were detected in the remaining reproductive variables. In conclusion, calving season influenced productive performance and selected metabolic indicators without increasing the incidence of periparturient diseases or compromising reproductive performance.

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro I. Ingredientes de ración totalmente mezclada preparto.....	24
Cuadro II. Promedio de consumo de materia seca (CMS) y proporción de cada componente de la dieta.	25
Cuadro III. Promedios ($\pm$ EE) de los componentes de la leche en vacas lecheras con diferentes épocas de parto, discriminados por año de muestreo (2023–2024).	34
Cuadro IV Indicadores reproductivos ($\pm$ EE) en vacas lecheras con diferentes épocas de parto entre los años 2023 y 2024.	39
Cuadro V. Promedios ($\pm$ EE) de metabolitos energéticos en vacas lecheras, según año, grupo de parto y momento fisiológico (2023–2024).	42
Cuadro VI. Promedios ($\pm$ EE) de metabolitos minerales en vacas lecheras, según año, grupo de parto y momento fisiológico (2023–2024).	44
Cuadro VII. Promedios ($\pm$ EE) de enzimas hepáticas en vacas lecheras, según año, grupo de parto y momento fisiológico (2023–2024).	47
Cuadro VIII. Promedios ($\pm$ EE) de proteínas plasmáticas en vacas lecheras, según año, grupo de parto y momento fisiológico (2023–2024).	47
Figura 1. Diseño experimental. Grupos: otoño (OTO), invierno (INV), extendido (EXT). Puntos estratégicos de monitoreo: preparto ($\cong$ -10 días del parto), al parto ($\cong$ 24h postparto), posparto temprano ($\cong$ días 10 posparto), sangrado a los 28dpp e inicio del manejo reproductivo ($>$ 40dpp), y ecografías de seguimiento de gestación hasta previo al secado. Escore de condición corporal (ECC): realizado quincenalmente desde el preparto ($\cong$ -10 días del parto) hasta 100 días en lactancia. Producción de leche: registros diarios; análisis de composición de leche realizada quincenalmente, ambos hasta 100 días en lactancia.	24
Figura 2. Promedios ($\pm$ EE) de producción de leche (L/día) semanalmente. Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido. G=grupo; T= tiempo y G*T = interacción grupo*tiempo.	32
Figura 3. Promedios de componentes de la leche ($\pm$ EE) quincenalmente diferenciada por años (2023 y 2024). Proteína (%) (A) 2023, (B) 2024; Grasa (%) (C) 2023, (D) 2024; Lactosa (%) (E) 2023, (F) 2024. Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido. G=grupo; T= tiempo y G*T = interacción grupo*tiempo.	35
Figura 4. Promedios de componentes de la leche ($\pm$ EE) quincenalmente diferenciada por años (2023 y 2024). RCS (cél/mL) (A) 2023, (B) 2024; BHB (mmol/L) (C) 2023,	

(D) 2024; MUN (mg/dL) (E) 2023, (F) 2024. Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido. G=grupo; T= tiempo y G*T = interacción grupo*tiempo. 36

Figura 5. Evolución del ECC ($\pm$ EE) quincenalmente. Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido. G=grupo; T= tiempo y G*T = interacción grupo*tiempo. 37

1. INTRODUCCIÓN

El período de transición en la vaca lechera, definido como las tres semanas previas y posteriores al parto, representa la etapa más crítica del ciclo productivo. Durante esta fase, el animal experimenta profundas adaptaciones fisiológicas, metabólicas y endocrinas dirigidas a sostener la gestación, iniciar la lactogénesis y reiniciar la ciclicidad ovárica (Bell, 1995). Esta transición implica una drástica reprogramación del metabolismo energético (carbohidratos, lípidos) y proteico, con una marcada movilización de reservas corporales para suplir el déficit energético postparto, junto con significativos reajustes en el perfil endócrino (Drackley, 1999). La magnitud y eficiencia de estas adaptaciones son determinantes clave para la salud, la productividad y la longevidad del animal. Cuando estos mecanismos de adaptación son insuficientes o se ven sobrepasados, la vaca se torna vulnerable a una serie de alteraciones metabólicas (p. ej., cetosis, hígado graso), desbalances inmunológicos y enfermedades periparto (p. ej., retención de membranas fetales, metritis), que a su vez repercuten negativamente en el desempeño reproductivo (LeBlanc, 2010). La condición corporal, la ingesta de materia seca y el manejo nutricional durante esta etapa son factores fundamentales que modulan este proceso.

En los sistemas pastoriles, caracterizados por la dependencia de la base forrajera natural, la época de parto (EP) emerge como un factor modulador de primer orden. La EP determina la cantidad, la calidad y disponibilidad de nutrientes en la pastura durante el período de transición, lo que influye directamente en la condición corporal, la magnitud del balance energético negativo y la necesidad y eficacia de la suplementación (Roche et al., 2017). Estudios indican que la EP puede afectar parámetros productivos por ejemplo el pico de lactancia y la producción total, así como indicadores reproductivos (intervalo parto-primer servicio e intervalo parto-concepción), reflejando la interacción entre los factores ambientales, la oferta nutricional y la fisiología del animal (Garcia y Holmes, 2001; White et al., 2002; Roche et al., 2017).

Por lo tanto, comprender la interrelación entre la EP, el perfil metabólico-endocrino y los parámetros reproductivos en sistemas pastoriles es esencial para desarrollar estrategias de manejo específicas. La identificación temprana de desviaciones metabólicas mediante el monitoreo de parámetros sanguíneos (perfil metabólico) se convierte en una herramienta fundamental para la prevención y el manejo de las disfunciones asociadas al periparto.

En este contexto, la presente investigación busca caracterizar y comparar el perfil metabólico y los parámetros reproductivos de vacas Holstein en un sistema de producción pastoril con diferentes épocas de parto. Este estudio describe información valiosa para optimizar el manejo nutricional y sanitario durante el período de transición, con el fin de mejorar la adaptación metabólica, la salud y la eficiencia reproductiva, contribuyendo así a la sostenibilidad y rentabilidad de los sistemas lecheros basados en pastoreo.

2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

Período de transición: balance energético negativo y condición corporal

Uno de los principales desafíos del período de transición es el establecimiento de un estado de balance energético negativo (BEN), definido como la condición en la cual las demandas energéticas para la lactancia superan la ingesta alimentaria de la vaca. Este déficit energético es más pronunciado durante las primeras semanas posparto, cuando la síntesis de leche alcanza su pico y el requerimiento de glucosa y ácidos grasos para la producción láctea excede la capacidad de la dieta para cubrir dichos requerimientos (Ribeiro et al., 2011; Meikle et al., 2004).

La condición corporal al parto es de relevancia crítica en la capacidad de manejo del BEN. Estudios relatan que condición corporal baja (<3) o excesiva ($>3,5$) puede comprometer la adaptación metabólica y predisponer a enfermedades de la transición (Roche et al., 2009; Daros et al., 2022). Animales con condición corporal alta en parto tienen su consumo todavía más afectado y según lo reportado por Grummer (1995), el consumo en el parto está relacionado con la capacidad de consumo postparto, lo que puede agravar la condición del BEN. El otro extremo (condición corporal baja) está más relacionado con susceptibilidad a enfermedades infecciosas como mastitis y metritis, explicado por su menor capacidad de respuesta inmunológica por baja disponibilidad de energía (Roche et al., 2009; Loker et al., 2012).

En contrapunto, hay un estudio que propone que la interacción se da, al contrario – el BEN es consecuente a la enfermedad (Horst, 2021). De cualquier manera, el animal sufre con el desbalance entre requerimientos y consumo, haciendo que active mecanismos compensatorios, adaptaciones necesarias para la lactancia temprana, pero que cuando son excesivas, predisponen a enfermedades y afectan la fertilidad (Drackley, 1999; Meikle et al., 2004).

Adaptaciones metabólicas en el parto - Marcadores energéticos y minerales

El parto de la vaca lechera representa un período de intensos cambios metabólicos, con modificaciones sustanciales en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas. La hipoglucemia resulta principalmente de la reducción en el consumo de materia seca preparto, sumado al alto requerimiento de glucosa para la síntesis de lactosa postparto, junto con la movilización de reservas grasas por el BEN, generan un incremento en la concentración plasmática de ácidos grasos no esterificados (NEFA). Estos cambios comprometen la función hepática y la estabilidad de la homeostasis energética (Rupprechter et al., 2020; Kadzere et al., 2002).

Diversos estudios han establecido puntos de corte que permiten asociar estos metabolitos con la aparición de trastornos de salud. En el caso de los NEFA, concentraciones superiores a 0,4 mmol/L entre 7 y 10 días antes del parto se han vinculado con un incremento de 2 a 4 veces en el riesgo de desplazamiento de abomaso (Le Blanc et al., 2005) y con el doble de probabilidad de retención de placenta (Quiroz-Rocha et al., 2009). Asimismo, se reportó que vacas con valores de NEFA al parto cercanos a 1,2 mmol/L tuvieron mayor incidencia de mastitis clínica y fiebre de leche respecto a aquellas con concentraciones inferiores (Meléndez et al., 2009).

En lo que refiere al BHB, considerado el biomarcador de referencia para confirmar la cetosis, se han propuesto umbrales postparto de 1,2 mmol/L para cetosis subclínica y 2,6 mmol/L para la forma clínica (Oetzel, 2004). Valores por encima de 1,2 mmol/L se han asociado con un riesgo 3 a 8 veces mayor de desplazamiento de abomaso (Duffield et al., 2005) y con un incremento de 3 a 6 veces en la probabilidad de metritis, endometritis, cetosis clínica y mastitis (Duffield et al., 2009). Además, la cetosis ha mostrado un impacto negativo sobre la reproducción: vacas con BHB en leche >1,0 mmol/L durante la primera semana posparto presentaron 1,5 veces más probabilidad de no ovular hasta 9 semanas después del parto y menor tasa de preñez a la primera inseminación (Walsh, 2007).

Finalmente, se ha sugerido que el colesterol sérico podría constituir un indicador complementario del estado de salud en el posparto. Sepúlveda et al. (2015) reportaron que animales con metritis, tanto en formas leves como severas, exhibieron concentraciones significativamente más bajas de colesterol en comparación con vacas sanas durante la segunda y tercera semana posteriores al parto. Además, el colesterol ha sido propuesto como un biomarcador

indirecto del consumo de materia seca (CMS), dado que su síntesis hepática depende del aporte energético de la dieta. Se ha observado que vacas con menor consumo en el posparto temprano presentan concentraciones reducidas de colesterol debido a una menor disponibilidad de lipoproteínas precursoras (Contreras & Sordillo, 2011; Gross et al., 2011). En este sentido, estudios realizados en vacas Holstein han demostrado una asociación positiva entre los niveles séricos de colesterol y el CMS, reflejando un mejor estatus metabólico y adaptación al inicio de la lactancia (Reist et al., 2002; Quiroz-Rocha et al., 2009). Por ello, la cuantificación de NEFA, β -hidroxibutirato (BHB) y colesterol se utiliza como herramienta para evaluar la capacidad de adaptación metabólica de la vaca en esta etapa (Herdt, 2000).

Simultáneamente, minerales esenciales como calcio, fósforo y magnesio presentan variaciones críticas en el inicio de la lactancia. En particular, la demanda de calcio aumenta alrededor de un 65% para sostener la producción de leche, y su homeostasis puede verse comprometida frente a este incremento abrupto. La hipocalcemia, tanto clínica como subclínica, afecta la contractilidad uterina, la motilidad intestinal y la función inmune, lo que incrementa el riesgo de retención de placenta y metritis (Caixeta et al., 2017). En este contexto, se ha definido hipocalcemia subclínica como una concentración sérica de calcio inferior a 2,0 mmol/L (Oetzel, 2004). Esta condición se ha asociado con un mayor riesgo de mastitis, desplazamiento de abomaso, retención placentaria y cetosis (Curtis et al., 1985; Van Saun et al., 2005). Adicionalmente, el déficit de calcio compromete la actividad de los neutrófilos, células fundamentales de la inmunidad innata, generando un estado de inmunosupresión que predispone a la vaca a enfermedades infecciosas durante el puerperio (Kehrli et al., 2006).

A su vez, tanto el fósforo como el magnesio cumplen funciones centrales en la homeostasis del calcio. El fósforo participa en la activación de la vitamina D y en la síntesis de ATP, procesos indispensables para la absorción intestinal y la movilización ósea de calcio. El magnesio, por su parte, actúa como cofactor en la secreción y acción de la hormona paratiroidea (PTH), siendo esencial para la regulación del metabolismo cálcico. Una deficiencia de magnesio disminuye la sensibilidad de los tejidos a la PTH, reduciendo la reabsorción renal y la movilización de calcio desde el hueso, lo que eleva el riesgo de hipocalcemia clínica y subclínica (Horst, 1986; Reinhardt et al., 1988; Martens et al., 2018).

Además, la relación calcio/fósforo (Ca/P) es un factor crítico en la prevención de hipocalcemia. En condiciones normales, esta relación se mantiene alrededor de 2:1; sin embargo, concentraciones elevadas de fósforo (hiperfosfatemia) pueden disminuir la disponibilidad de calcio y alterar esta proporción, predisponiendo a la hipocalcemia al inicio de la lactancia. Por lo tanto, el equilibrio entre calcio, fósforo y magnesio debe considerarse de manera conjunta para comprender los desórdenes minerales que afectan a las vacas lecheras en la transición (Goff, 2008).

Adaptaciones metabólicas en el periparto - Marcadores hepáticos y proteicos

Adicionalmente a los marcadores energéticos y minerales, los indicadores de función hepática y del estado proteico-inflamatorio ofrecen información relevante sobre la adaptación metabólica en el periparto. Las enzimas aspartato aminotransferasa (AST) y γ -glutamil transferasa (GGT) se elevan en situaciones de estrés hepático o daño celular, reflejando una menor capacidad del hígado para metabolizar NEFA y cuerpos cetónicos (Kaneko et al., 2008; Sejersen et al., 2012). Elevaciones de AST y GGT han sido asociadas con desplazamiento de abomaso y síndrome de hígado graso, junto con incrementos posparto en NEFA y BHB (Sejersen et al., 2012).

Por otro lado, la albúmina, proteína de fase aguda negativa sintetizada por los hepatocitos, tiende a disminuir durante procesos de inflamación sistémica, lesión hepática o desnutrición (Lager y Jordan, 2012; Rupprechter et al., 2018). De forma complementaria, las globulinas suelen aumentar en respuesta a procesos infecciosos o inflamatorios, por lo que la relación albúmina/globulina resulta útil para distinguir alteraciones de origen nutricional, hepático o inmunitario (Wittwer, 1996). Asimismo, concentraciones alteradas de calcio, albúmina y adiponectina en el periparto se han asociado con disminución de la función inmune, hipocalcemia subclínica y mayor incidencia de metritis o desplazamiento de abomaso (Martínez et al., 2012; Reinhardt et al., 2011; Rupprechter et al., 2018). Finalmente, la urea sérica refleja el metabolismo proteico ruminal y la función hepática, y sus variaciones se relacionan con la fertilidad y el estado metabólico posparto (Van Saun, 2004; Puppel y Kuczynska, 2016).

En conjunto, la evaluación de metabolitos energéticos (NEFA, BHB, colesterol), minerales (calcio, fósforo, magnesio) y parámetros asociados a la función hepática y proteica (AST, GGT, albúmina, globulinas y urea) constituye una herramienta valiosa para caracterizar el estado metabólico de las vacas en transición. El monitoreo sistemático de estas variables permite no solo

detectar tempranamente alteraciones subclínicas, sino también anticipar la aparición de enfermedades asociadas al periparto, favoreciendo un enfoque de medicina preventiva. De esta manera, la implementación de perfiles metabólicos contribuye a mejorar la gestión sanitaria y a optimizar el desempeño productivo y reproductivo en los sistemas lecheros.

Enfermedades del periparto

La combinación de déficit energético y estrés metabólico incrementa la vulnerabilidad de las vacas lecheras a diversas enfermedades durante el periparto. Entre las más relevantes se incluyen cetosis, hipocalcemia, retención de placenta, metritis y mastitis (Bendixen et al., 1986; Bruun et al., 2002; Sepúlveda et al., 2015). La incidencia y severidad de estas patologías dependen del sistema de manejo y la época de parto, siendo generalmente mayores en sistemas de confinamiento intensivo, aunque también significativas en pastoreo cuando las condiciones nutricionales son limitantes (Washburn et al., 2002; White et al., 2002).

Como ya ha sido mencionado, el período de transición es reconocido como el de mayor riesgo de enfermedad a lo largo de la vida productiva de la vaca (Leblanc, 2010; Galvão, 2013; Carvalho et al., 2019) y gran parte de los eventos clínicos ocurren en las primeras tres semanas posparto (Ribeiro et al., 2016). Entre estas, la mastitis clínica y las patologías uterinas son de particular relevancia debido a su impacto productivo y reproductivo, tanto a nivel internacional (Hogeveen et al., 2017) como nacional (Cruz et al., 2021; Barca et al., 2021; 2022; 2023).

La mastitis clínica se mantiene como una de las enfermedades más frecuentes y costosas en la producción lechera. A pesar de las mejoras en manejo, todavía afecta un número considerable de vacas modernas, con incidencias reportadas que oscilan entre 40 y más de 95 casos por cada 100 vacas por año (Murphy, 1956; Barkema et al., 1998; Santman-Berends et al., 2015; Gao et al., 2017; Jamali et al., 2018).

Por otro lado, el parto constituye un evento crítico que provoca daño físico y contaminación bacteriana del tracto reproductivo (Sheldon et al., 2020), favoreciendo la aparición de enfermedades uterinas con altas tasas de incidencia. La retención de placenta, definida como la permanencia de membranas fetales visibles más de 12 h después del parto (Lockhart & Gastal, 2019), afecta entre 5 y 10% de las vacas, mientras que la metritis puede comprometer al 25–40%

y la endometritis clínica al 20–30% de los animales (Kelton et al., 1998; Kimura et al., 2002; Sheldon et al., 2006, 2008; Galvão, 2013).

Estas patologías provocan pérdidas económicas directas por disminución de producción y descarte de leche por tratamientos antibióticos, y efectos indirectos sobre la reproducción, como retraso en la primera inseminación y menor tasa de concepción, siendo también un factor importante de descarte prematuro (Fourichon et al., 2000; LeBlanc et al., 2002; Toni et al., 2015; Galligan, 2006; Overton and Fetrow, 2008; Pérez-Báez et al., 2021).

Las enfermedades metabólicas y nutricionales, así como las inflamatorias, se vinculan con alteraciones en el metabolismo energético y hormonal durante la transición. En consecuencia, no solo comprometen la salud y el bienestar de las vacas, sino que tienen un efecto directo en la eficiencia reproductiva y la rentabilidad de los sistemas de producción.

Consecuencias de una mala adaptación metabólica sobre la reproducción

El período de transición, con todos los cambios metabólicos y sanitarios que conlleva, representa un determinante crítico de la eficiencia reproductiva. Alteraciones metabólicas y enfermedades del periparto interfieren con la resorción endometrial, la función ovárica y la secreción hormonal necesaria para el inicio del ciclo estral (Smith et al., 2014).

Vacas que experimentan algún trastorno de salud, como retención de placenta, metritis o cetosis, tienen entre un 50% y un 63% menos probabilidad de estar ciclando al final del período de espera voluntaria, y entre un 25% y un 38% menos probabilidad de quedar preñadas después de la primera inseminación artificial (Fourichon et al., 2000; Ruprecht et al., 2020). Además, vacas que presentan hipocalcemia subclínica hasta el tercer día de lactancia tienen un 70% menos probabilidad de quedar preñadas en el primer servicio en comparación con vacas normocalcémicas (Caixeta et al., 2017; Cruz et al., 2021).

Además, hay abundante bibliografía referida a como el perfil endócrino posparto actúa como mediador entre la condición metabólica y la función reproductiva. Vacas con BEN severo presentan disminución de progesterona temprana, retraso en la actividad luteal y menor fertilidad, mientras que vacas con adaptación metabólica eficiente muestran reinicio más rápido del ciclo

estral y mayor probabilidad de concepción (Ruprecht et al., 2020; Sammad, 2022; Meikle et al., 2004).

Implicancia de la concentración y la época de parto en sistemas pastoriles

En la lechería de base pastoril, la concentración de partos en un período estacional es una estrategia para aprovechar el pico de crecimiento del pasto, reducir los días fuera de producción y maximizar la fertilidad (Shalloo et al., 2014; O'Donovan et al., 2020). Esta estrategia permite alinear la lactancia con la mayor oferta de forraje, optimizando la eficiencia alimenticia y reduciendo la dependencia de suplementos. En países como Irlanda, donde la disponibilidad anual de forraje es elevada permitiendo sistemas pastoriles altamente eficientes, la concentración de partos ha demostrado mejorar tanto la productividad como la rentabilidad (Teagasc, 2020).

Partos concentrados facilitan la gestión del servicio, mientras que su dispersión o retraso incrementan los días abiertos y reducen la tasa de concepción (Shalloo et al., 2014). En su análisis, dichos autores estimaron que la reducción de la eficiencia reproductiva reflejada en una menor tasa de concepción dentro de las seis primeras semanas del período reproductivo genera pérdidas económicas considerables, asociadas al aumento del descarte, mayor número de inseminaciones y costos laborales adicionales.

Sin embargo, en contextos como el Reino Unido, donde coexisten diferentes patrones de parto dentro de un mismo mercado, se ha observado que los rebaños con partos distribuidos durante todo el año (*all-year-round*) continúan siendo predominantes, y su comparación directa con sistemas de partos en bloque ha evidenciado diferencias asociadas a la economía (Ham et al., 2025). A partir del análisis de encuestas de más de 600 granjas lecheras, estos autores demostraron que los rebaños con partos en bloque de otoño presentaron menores ingresos totales, mayor costo de mano de obra y menor beneficio neto que los extendidos, mientras los bloques de primavera mostraron mayores ingresos, más compra de forraje y menores costos generales, pero sin una ventaja clara en beneficio neto frente a extendido, destacando que la eficiencia económica del sistema depende, en gran medida, del patrón de parto adoptado.

Por otra parte, el desempeño reproductivo no puede desvincularse del estado metabólico posparto, fuertemente condicionado por la época de parto y la disponibilidad estacional de forraje.

En conjunto, la severidad del BEN está fuertemente influenciada por la época de parto en sistemas pastoriles, agregando complejidad al manejo de la transición. Las variaciones estacionales en calidad y disponibilidad de forraje afectan el balance energético, la expresión de lactancia temprana y la susceptibilidad a enfermedades metabólicas y reproductivas (White et al., 2002; Roche et al., 2013). Partos durante estaciones con escasez de pasto (como el invierno) incrementan el riesgo de sufrir déficit nutricional, hipocalcemia subclínica y metritis, mientras que partos en épocas de abundancia (como en primavera) favorecen la ingesta energética, reducen alteraciones metabólicas y mejoran la recuperación reproductiva (Bruun et al., 2002; Washburn et al., 2002).

La planificación de la época de parto es una estrategia fundamental para maximizar la eficiencia de los sistemas pastoriles. Integrar información sobre crecimiento estacional del pasto, necesidades nutricionales y capacidad metabólica permite minimizar riesgos y optimizar la productividad. Además, el manejo adaptativo, incluyendo suplementación estratégica, monitoreo de condición corporal y control de enfermedades, es esencial para garantizar una transición eficiente y una reproducción exitosa (Edmonson et al., 1989; Kadzere et al., 2002). Todavía, hay escasa literatura que compare la eficiencia de partos concentrados o extendidos a lo largo del año en sistemas pastoriles, tanto a nivel internacional como nacional. Por lo tanto, evaluar cómo la época de parto modula estos procesos metabólicos en sistemas pastoriles uruguayos resulta fundamental para desarrollar estrategias de manejo específicas, objetivo central de esta investigación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Uruguay, el sector lácteo ocupa aproximadamente el 5 % del territorio nacional, predominando los sistemas pastoriles con suplementación. La producción anual alcanza el equivalente a seis veces la demanda interna, a pesar de que el consumo per cápita de leche supera en más del doble el promedio mundial. Alrededor del 30 % de esta producción se destina al mercado local y el 70 % se exporta, lo que sitúa al país como el noveno mayor exportador de leche a nivel mundial (INALE, s.f.).

En los últimos años, el sector ha experimentado una reducción tanto en el número de establecimientos como en el área dedicada a la actividad, mientras que la producción de leche ha

continuado incrementándose (MGAP, 2024). Esto refleja un cambio en los patrones productivos, con rodeos y animales más eficientes y productivos en promedio.

El alto potencial productivo de las vacas lecheras, resultado de la selección genética y la intensificación de la producción, hace que el período periparto —definido como los 21 días antes y los 21 días posteriores al parto (Drackley, 1999)— siga siendo un momento crítico en la gestión de los rodeos (Kay et al., 2015; Overton et al., 2017; Gross y Bruckmaier, 2019). Durante esta fase, los intensos cambios endócrinos y metabólicos suponen un estrés adicional, y es precisamente en esta etapa de transformaciones fisiológicas (final de gestación, parto y lactogénesis) donde las vacas presentan el mayor riesgo de enfermar a lo largo de su vida productiva (Leblanc, 2010; Galvão, 2013; Carvalho et al., 2019).

Se ha reportado que aproximadamente el 80 % de los eventos clínicos ocurren durante las primeras tres semanas posparto (Ribeiro et al., 2016). A nivel nacional, la información disponible aún es limitada; un análisis retrospectivo de 5.375 vacas de 13 rodeos comerciales mostró que el 36,5 % de los animales presentó al menos un evento clínico durante los primeros 90 días de lactancia (Cruz et al., 2021).

En sistemas pastoriles, algunos estudios han reportado una menor incidencia de enfermedades (Bendixen, 1986; Bruun, 2002; Washburn, 2002; White, 2002; Ribeiro, 2011); sin embargo, investigaciones más recientes señalan tasas similares a las observadas en otros sistemas (Sepúlveda-Varas, 2015), lo que sugiere que el grado de intensificación alcanzado en los sistemas pastoriles se aproxima cada vez más al de otros sistemas, como, por ejemplo, de animales confinados. Las alteraciones de salud durante el periparto reducen significativamente la probabilidad de que la vaca reinicie su ciclo estral y logre la concepción en el primer servicio, comprometiendo así la eficiencia reproductiva del rodeo (Fourichon et al., 2000; Rupprechter et al., 2020).

En este contexto, la época de parto constituye un factor determinante. En Uruguay, la producción lechera se basa principalmente en pasturas, complementadas con suplementación estratégica, por lo que la oferta y calidad del forraje varían marcadamente a lo largo del año. Durante el otoño e invierno, el crecimiento de las pasturas es limitado y las condiciones climáticas desfavorables como las bajas temperaturas y exceso de lluvias, pueden restringir el acceso de los

animales al forraje, afectando el consumo y la dieta de las vacas recién paridas. En contraste, la primavera representa el período de mayor crecimiento y calidad del pasto, coincidiendo con el pico de producción de leche en los sistemas pastoriles uruguayos (Agrociencia Uruguay, 2022). Estudios recientes confirman que la lechería nacional continúa siendo predominantemente pastoril, con rodeos que dependen en gran medida del pasto disponible y del manejo de la suplementación (Fariña & Chilibróste, 2019).

Comparando con experiencias internacionales, en el sur de Nueva Zelanda, las vacas que parieron en otoño-invierno lograron mayor producción total de leche, lactancias más prolongadas y un intervalo parto-concepción más corto que las vacas que parieron en primavera (García y Holmes, 2001). Sin embargo, las condiciones uruguayas difieren, ya que los inviernos presentan menor crecimiento de pasto y lluvias intensas que dificultan el acceso al forraje fresco. Esto significa que las vacas que paren en otoño enfrentan un escenario nutricional más restrictivo, mientras que aquellas que paren en invierno, especialmente al final, y lactan durante la primavera se benefician de una mayor oferta forrajera y mejor balance energético.

A pesar de su relevancia, se conoce poco sobre cómo la época de parto afecta el periparto y el perfil metabólico de los animales, y su impacto en la salud y reproducción de las vacas en sistemas pastoriles en Uruguay. Por ello, el presente trabajo busca analizar el efecto de la época de parición sobre las alteraciones metabólicas y nutricionales y su influencia en la reproducción, generando información clave para diseñar estrategias de mitigación y manejo eficaces.

HIPÓTESIS

En sistemas lecheros pastoriles, las vacas que paren en otoño presentarán un perfil metabólico más desfavorable (ej. balance energético negativo) durante el periparto, lo que se asociará con una mayor incidencia de alteraciones de salud y un menor desempeño reproductivo en comparación con las vacas que paren en el invierno. Por su parte, las vacas con partos extendidos podrían exhibir respuestas intermedias o de mayor variabilidad biológica, debido a la heterogeneidad en la oferta y calidad de forraje y en las condiciones ambientales a lo largo del período de pariciones, lo que también puede repercutir en su balance energético y recuperación reproductiva posparto.

OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar el efecto de la EP (otoño, invierno y extendido) en sistemas lecheros pastoriles, sobre el perfil metabólico durante el periparto y parámetros reproductivos en vacas Holstein en lactación.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de la época de parto (EP) sobre los perfiles metabólicos, la condición corporal y la producción y composición láctea de vacas Holstein.
2. Evaluar el efecto de la EP sobre los parámetros reproductivos y de salud.
3. Determinar asociaciones entre el perfil metabólico de los animales en las diferentes EP con los parámetros reproductivos/sanitarios.

4. ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se desarrolla en el marco del proyecto financiado por ANII (FMV_1_2021_1_166387), cuyo objetivo general es evaluar el impacto de distintas estrategias de época de parición (EP) sobre el desempeño productivo y económico de sistemas lecheros pastoriles en Uruguay. En dicho proyecto se simulaban tres escenarios de EP: compacta en otoño, compacta en invierno y extendida asociados a diferentes rotaciones forrajeras, y se evaluó su efecto integral sobre la producción de leche y la dinámica de utilización de pasturas. En este marco de investigación a nivel de sistemas, la presente tesis constituye un aporte complementario, enfocándose específicamente en la respuesta biológica de las vacas lecheras frente a dichas estrategias reproductivas. En particular, aborda en profundidad los procesos de salud metabólica y desempeño reproductivo durante el período de transición, dimensiones determinantes para la eficiencia productiva, el bienestar animal y la sustentabilidad del sistema lechero.

El presente estudio se desarrolló en la Estación Experimental INIA La Estanzuela (Colonia, Uruguay) durante los años 2023 y 2024. Se trabajó con 60 vacas lecheras Holstein de origen genético neozelandés, asignadas aleatoriamente a tres tratamientos definidos según la época de parto: otoño (OTO), invierno (INV) y partos extendidos (EXT). El diseño experimental se orientó a evaluar la relación entre la época de parto y el comportamiento productivo, metabólico, sanitario y reproductivo durante el período de transición y los primeros 100 días de lactancia.

El manejo alimenticio, sanitario y de ordeño fue estandarizado para todos los tratamientos, garantizando condiciones comparables entre grupos. Se realizó un monitoreo periódico de producción y composición de leche, condición corporal, balance energético y ocurrencia de enfermedades clínicas y subclínicas del periparto, acompañado de determinaciones metabólicas en sangre y orina en momentos estratégicos. Paralelamente, se implementó un protocolo reproductivo de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) para evaluar el reinicio de la actividad ovárica y los indicadores de fertilidad temprana. Los datos fueron registrados sistemáticamente, y posteriormente analizados mediante pruebas estadísticas adecuadas para evaluar diferencias entre tratamientos y su evolución temporal.

Esta estrategia permitió integrar variables de desempeño animal bajo condiciones reales de producción pastoril, aportando evidencia aplicable al manejo de rodeos lecheros según época de parto.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Animales, alimentación y manejo de ordeño

El experimento fue realizado en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) en la Estación Experimental La Estanzuela, Colonia, Uruguay (34° 27' S, 57° 50' W) en los años 2023 y 2024. Los protocolos y permisos del Comité de Ética para Experimentación Animal están avalados por CEUA-INIA (n° 27.2023). Se utilizaron 60 vacas lecheras Holstein de origen genético neozelandés seleccionadas con base en los factores de inclusión: época de parto, edad ($3 \pm 1,5$ años), número de lactancia ($2 \pm 1,4$), producción de leche proyectada en 305d e índice económico productivo (IEP). Los animales se asignaron aleatoriamente a 3 tratamientos (n=20/tratamiento; siendo 14 multíparas y 6 primíparas en cada grupo): a) partos de otoño (OTO: marzo-mayo), b) partos de invierno (INV: junio-agosto), c) partos extendidos (EXT: marzo-octubre). Debido al manejo de sistemas, en la réplica del segundo año se esperó un reemplazo del 20%, en que algunos animales fueron descartados por motivos reproductivos, ubre y otros, siendo reemplazados por vaquillonas.

El presente proyecto de maestría se enfoca en los resultados metabólicos, la casuística de enfermedades del periparto e indicadores reproductivos. Por lo tanto, en la **Figura 1** se ilustra el diseño experimental básico utilizado.



Figura 1. Diseño experimental. Grupos: otoño (OTO), invierno (INV), extendido (EXT). Puntos estratégicos de monitoreo: preparto ($\cong$ -10 días del parto), al parto ($\cong$ 24h postparto), posparto temprano ($\cong$ días 10 postparto), sangrado a los 28dpp e inicio del manejo reproductivo ($>$ 40dpp), y ecografías de seguimiento de gestación hasta previo al secado. Escore de condición corporal (ECC): realizado quincenalmente desde el preparto ($\cong$ -10 días del parto) hasta 100 días en lactancia. Producción de leche: registros diarios; análisis de composición de leche realizada quincenalmente, ambos hasta 100 días en lactancia.

La alimentación preparto se inició a partir del día -24 ($\pm$ 3 días) en relación con el parto y se basó en una ración totalmente mezclada (Tabla I), con acceso irrestricto al agua. La formulación de la dieta estuvo orientada a satisfacer los requerimientos calculados de acuerdo con las recomendaciones del NRC (2001) en función de las características promedio del lote, con la inclusión de sales aniónicas en la ración. El suministro de la ración se efectuó una vez al día, a las 09:00 h, en comederos grupales.

Cuadro I. Ingredientes de ración totalmente mezclada preparto.

Ingrediente	% de materia seca/animal/día
Ensilaje de maíz	53
Fardo de festuca	18,4
Grano seco de maíz	11,8

Harina de soja	9,6
DDGS de maíz	3,3
Nutriparto potenciado®	2,2
Sales preparto (Animate®)	1,5
Óxido de magnesio	0,2

La alimentación en lactancia se manejó de forma estandarizada en todas las EP, con énfasis en la maximización del pastoreo directo y suplementación con concentrado y reservas forrajeras para cubrir los requerimientos nutricionales definidos por NRC (2001) y los valores estimados mediante “Farmax-Dairy-Pro” (Bryant, 2010), validado para Uruguay por Stirling et al. (2021) para cada estación y EP. El aprovechamiento de la pastura se realizó bajo el sistema 3R (recorrida, rotación y remanente), ajustado a la tasa de crecimiento semanal de la plataforma de pastoreo (Fariña, 2017).

Cada grupo contó con una plataforma de pastoreo de 9,2 ha. La composición forrajera se definió según la curva productiva de las especies y los requerimientos nutricionales de los animales en cada EP. En el grupo OTO, el 75% del área correspondió a festuca (*Festuca arundinacea*) y el 25% a alfalfa y dactylis (*Medicago sativa* y *Dactylis glomerata*). El grupo INV presentó la proporción inversa, mientras que en el grupo EXT la superficie se distribuyó en partes iguales entre ambas bases forrajeras. Además, podrían recibir suplementación como ración totalmente mezclada (TMR) con ensilaje de maíz o ración en sala de ordeño. En la Tabla II se presentan los valores promedio de consumo de alimento y composición de la dieta reales para cada tratamiento según etapa de lactancia.

Cuadro II. Promedio de consumo de materia seca (CMS) y proporción de cada componente de la dieta.

Etapa de lactancia *	CMS y Composición	OTO	INV	EXT
Temprana	MS/VO promedio (Kg/d)	22,0	22,4	21,5
	Pastura (%)	12,8	21,73	22,94
	Concentrado (%)	46,3	42,00	39,75
	Reserva (%)	40,9	36,27	37,31

Media	CMS/VO promedio (Kg/d)	22,7	21,6	21,6
	Pastura (%)	16,66	58,09	28,89
	Concentrado (%)	48,63	6,94	35,26
	Reserva (%)	34,71	34,97	34,83
Tardía	CMS/VO promedio (Kg/d)	18,7	20,6	19,8
	Pastura (%)	54,05	30,78	52,44
	Concentrado (%)	13,76	38,01	13,41
	Reserva (%)	32,19	31,21	34,15

*promedio de 3 meses.

El ordeño se realizó dos veces al día (mañana y tarde). Los animales eran trasladados desde la parcela hasta la sala de ordeño, la cual corresponde a un sistema tipo “espina de pescado” con capacidad de 22 órganos. El sistema se encuentra totalmente automatizado y conectado al software DairyPlan (GEA Farm Technologies, Alemania), donde cada animal es identificado mediante un chip electrónico al ingresar a la línea de ordeño, registrándose automáticamente su número y generando las informaciones y registros correspondientes.

Producción y composición de leche

La producción de leche fue evaluada a través de los registros diarios por vaca en el sistema automatizado Dairy Plan C21 (V.5.3, GEA), generando dos datos al día por animal (am-pm). La composición de la leche fue evaluada mediante controles lecheros quincenales realizados por el Laboratorio de Calidad de Leche de INIA-LE, considerando los parámetros de grasa, proteína, lactosa, nitrógeno ureico en leche (MUN) y cuerpos cetónicos (β -hidroxibutirato, BHB), a partir de muestras obtenidas en dos ordeños (tarde y mañana). Los análisis se efectuaron por espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR) en el equipo MilkoScan FT+ (Foss Electric A/S, Hillerød, Dinamarca). La determinación de grasa, proteína y lactosa se realizó según la norma ISO 9622 – IDF 141 (2013), mientras que el MUN se analizó de acuerdo con las recomendaciones del Bulletin IDF No. 383/2003. La cuantificación de BHB se llevó a cabo siguiendo el Bulletin IDF 504/2020, expresando los resultados en mmol/L. Adicionalmente, el recuento de células somáticas en leche se determinó por citometría de flujo en el equipo Fossomatic FC (Foss Electric A/S, Hillerød, Dinamarca), conforme a la norma ISO 13366-2:2006

(IDF 148-2:2006). Los datos productivos fueron analizados hasta el día 100 en lactancia, agrupados de manera semanal en producción en litros y quincenal según análisis de composición.

Peso individual

El peso vivo individual de los animales fue registrado diariamente mediante pasaje por balanza de paso (GEA Farm Technologies, Alemania), a la salida de cada ordeño. Los datos fueron analizados hasta el día 100 en lactancia y promediados quincenalmente.

Monitoreo del período de transición

El monitoreo del periparto consiste en evaluaciones estratégicas para la determinación de parámetros clínicos y laboratoriales en el preparto ($\cong$ -10 días del parto), al parto ($\cong$ 24h postparto), y posparto temprano ($\cong$ días 10 posparto), según lo descrito a continuación:

Condición corporal:

El score condición corporal (ECC, escala 1 - 5) fue evaluado según lo descrito por Edmondson et al. (1989) donde 1 es demasiado flaca y 5 obesa. Para evitar errores de subjetividad, el evaluador siempre fue el mismo y las evaluaciones se realizaron quincenalmente desde el preparto ($\cong$ -10 días antes del parto) hasta el día 100 en lactancia.

Determinación de pH en orina:

En el preparto, posterior a la espera del período de adaptación a la dieta y manejo ($\cong$ 7 días), se obtuvieron muestras de orina mediante estímulo con masaje en la región subvulvar para la evaluación del pH. Esta, se realizó con tiras colorimétricas reactivas (Multistix 10-SG) en equipo lector específico (CLINITEK Status® Analyzer), de acuerdo con el utilizado por Afsahi, A., et al. (2020).

Registros del parto:

El tipo de parto fue monitoreado y clasificado en normal o asistido, con registro de la fecha del parto, identificación, peso y condición corporal de la vaca y la viabilidad y sexo del

ternero. A las 24h postparto, en conjunto con la extracción de sangre, el animal fue revisado para la detección de retención de membranas fetales, siendo considerado un caso de retención, la presencia de las membranas cuando hayan transcurrido más de 12h postparto (LeBlanc, 2008).

Temperatura corporal:

La temperatura fue registrada a las 24 h y a los ≈ 10 días posparto con termómetro digital vía rectal, considerada fisiológica cuando los valores oscilaban entre 38-39,3°C (Radostits, 2002; Kaneko, 2008), dependiendo del momento de medición. En caso de fiebre, así como cualquier otro signo clínico, el caso era relatado al médico veterinario responsable del tambo.

Medición de las cetonas y diagnóstico de cetosis por sangre y orina:

Sangre: Para la medición de BHB en la sangre a nivel de campo, se utilizó el equipo FreeStyle Optium Neo® – sistema de monitorización donde se dispone una gota de sangre en una tirilla y se cuantifica BHB, de acuerdo con lo validado para diagnóstico de cetosis en bovinos por MacMillan (2017).

Orina: La recolección y evaluación de orina se realizó como se describe en el ítem de preparto, con tiras reactivas, pero ahora con la atención a las cetonas en el posparto temprano.

Para la sangre, valores de 1,2 mmol/L o superiores se consideraron diagnóstico de cetosis subclínica y valores mayores a 3 mmol/L como cetosis clínica (McArt et al., 2012). Para el diagnóstico individual mediante orina se utilizaron tirillas reactivas para detección de acetoacetato, considerándose caso de cetosis subclínica valores superiores a 5 mg/dL (Carrier et al., 2004; Morales et al., 2021).

Diagnóstico de mastitis:

La mastitis se definió como la presencia de alteraciones en la secreción láctea, con o sin signos locales de inflamación o enfermedad sistémica (Ruegg, 2017). La detección rutinaria se realizó mediante la inspección de la leche sobre fondo negro, utilizada como

método de tamizaje, mientras que la confirmación diagnóstica se llevó a cabo mediante el California Mastitis Test (CMT), que permite estimar de forma indirecta el recuento de células somáticas en vacas lecheras (Kandeel et al., 2018; Mahmmod et al., 2013).

Diagnóstico de metritis:

Se realizó la evaluación ($\cong 10$ dpp) por el método metrichcek para la determinación del olor y aspecto del contenido uterino. Se clasificó en una puntuación de 0 a 3, siendo 0 translúcido, 1 levemente purulento ($<50\%$), 2 más purulento ($>50\%$) y 3 completamente purulento con olor pútrido, considerándose como metritis postparto las clasificaciones de puntuación 2 y 3 según lo descrito por Sheldon et. al (2009).

Enfermedades clínicas y subclínicas generales:

En animales que presentaban disminución de consumo, de la producción, enoftalmo, hipertermia u otra anormalidad observada, se realizó un examen clínico general fue realizado para el diagnóstico de enfermedades (e.g. mastitis, retención membranas fetales, cetosis, metritis) y en caso de diagnosticar alguno de esos casos, fue registrado en el software DairyPlan.

Colectas de sangre

La extracción de la sangre se realizó por venopunción de la coccígea utilizando sistemas de tubo Vacutainer (8,5 mL; BD Vacutainer, Franklin Lakes, NJ, USA) en 5 momentos: preparto ($\cong 10$ días previos al parto), parto ($\cong 1$ día postparto), posparto temprano ($\cong 10$ días postparto), 28 días postparto y al inicio del manejo reproductivo (≥ 40 días postparto, $\cong 50$ días postparto). Posteriormente, a fin de obtener y almacenar el suero se realizó centrifugación a $2500 \text{ rpm} \times 10 \text{ min}$. Los sueros, se mantuvieron a -20°C hasta realizar las determinaciones de los perfiles metabólicos en el Laboratorio de Endocrinología y Metabolismo Animal de FVET - Udelar.

Manejo reproductivo

Controles ecográficos (modo B, IMAGO, IMV imaging) transrectales fueron realizados al final del período de espera voluntario (≥ 40 dpp) a fin de determinar el estatus ovárico: cíclica – presencia de cuerpo lúteo (CL) y tono uterino; anestro superficial – ausencia de CL con presencia de un folículo $>8\text{mm}$ y bajo tono uterino; anestro profundo – ausencia de CL y folículos $>8\text{mm}$, sin tono uterino; presencia de patologías ováricas (quistes folicular, luteal, tumores), y estatus uterino (diagnóstico de metritis/endometritis y posibles patologías uterinas). Luego, todas las vacas aptas para la reproducción fueron sometidas a un protocolo hormonal de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) de 10 días: Día 0, GnRH (0,1mg, I.M.) y colocación de dispositivo intravaginal con progesterona (DIB, 1,2g), Día 7, retiro del DIB y aplicación de PGF2 α (0,15mg, I.M.), Día 9, GnRH (0,1mg, I.M.), y en el día 10 la realización de la IATF. 30 días post-IATF se realizaron ecografías para diagnóstico gestacional, así como a los 60-90 y 180-240 días de gestación para diagnosticar posibles pérdidas gestacionales.

Los indicadores reproductivos recabados a partir de esa evaluación fueron: registros de estatus ovárico al inicio de la reintroducción al manejo reproductivo, concepción al primer servicio y final, cantidad de inseminaciones, tasa de perdidas embrionarias y fetales, intervalo parto-primer servicio e intervalo parto-concepción.

Perfil metabólico

Los metabolitos, minerales y enzimas se determinaron por espectrofotometría en un autoanalizador automático BA200 (Biosystems S.A., Barcelona, España), utilizando kits comerciales del mismo fabricante, en el Laboratorio de Endocrinología y Metabolismo Animal, Facultad de Veterinaria, Montevideo, Uruguay. Los kits empleados fueron: BHB (Ref. 12525; método cinético enzimático, D-3-hidroxibutirato; límite de detección: 0,016 mmol/L; linealidad: hasta 8,0 mmol/L), NEFA (Ref. 11840; método enzimático colorimétrico acil-CoA oxidasa/peroxidasa; límite de detección: 0,01 mmol/L; linealidad: hasta 4,0 mmol/L), albúmina (Ref. 23547; método BCG; límite de detección: 1,21 g/L; linealidad: hasta 70 g/L), proteínas totales (Ref. 21513; método Biuret; límite de detección: 0,800 g/L; linealidad: hasta 150 g/L), urea (Ref. 23516; método UV ureasa/glutamato deshidrogenasa; límite de detección: 0,614 mmol/L;

linealidad: hasta 50 mmol/L), glucosa (Ref. 21503; método glucosa oxidasa/peroxidasa; límite de detección: 0,199 mmol/L; linealidad: hasta 27,5 mmol/L), colesterol (Ref. 21505; método colesterol oxidasa/peroxidasa; límite de detección: 0,109 mmol/L; linealidad: hasta 26 mmol/L), calcio (Ref. 12570; método Arsenazo III; límite de detección: 0,105 mmol/L; linealidad: hasta 4,5 mmol/L), fósforo (Ref. 21518; método fosfomolibdato/UV; límite de detección: 0,08 mmol/L; linealidad: hasta 6,46 mmol/L), magnesio (Ref. 21797; método azul de xilidilo; límite de detección: 0,081 mmol/L; linealidad: hasta 1,64 mmol/L), AST/GOT (Ref. 23531; método IFCC; límite de detección: 7,15 U/L; linealidad: hasta 500 U/L), GGT (Ref. 21520; método IFCC; límite de detección: 3,07 U/L; linealidad: hasta 600 U/L. Se utilizaron controles de bioquímica I y II (Refs. 18009 y 18007, Biosystems).

En todos los casos, los coeficientes de variación intra- e inter-ensayo de los controles comerciales fueron <10%.

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software estadístico R versión 4.4.1 (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria). Para determinar normalidad, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk. Los datos que presentaron una distribución normal se analizaron mediante el modelo mixto ANOVA para medidas repetidas y las diferencias entre los grupos se evaluaron mediante la prueba post hoc de Tukey. Los datos que no presentaron una distribución normal se analizaron mediante la prueba de Kruskal Wallis para comparar los valores medios entre los grupos. Los parámetros de frecuencia fueron sometidos a la prueba de Chi Cuadrado. Los datos discretos fueron presentados como media $\pm$ error estándar (EE) y las frecuencias fueron expresadas en porcentaje (%). Una probabilidad de $P < 0.05$ fue considerada como diferencia significativa y tendencia entre 0,05-0,1.

6. RESULTADOS

Producción y composición de leche

La producción promedio de leche en los primeros 100 días de lactancia difirió ($p < 0,001$) entre los grupos (**Figura 2**). El grupo INV presentó la mayor producción promedio ($30,2 \pm 0,7$ L), seguido por OTO ($28,9 \pm 1,0$ L) y EXT ($28,0 \pm 0,8$ L). El análisis por semana y la interacción grupo*semana también mostró un efecto relevante ($p < 0,001$), confirmando que la dinámica de producción varía tanto entre grupos como a lo largo del tiempo. La evolución de la producción a lo largo de las 14 semanas alcanzó el pico aproximadamente en la semana 6, seguido de un descenso gradual hacia el final del período.

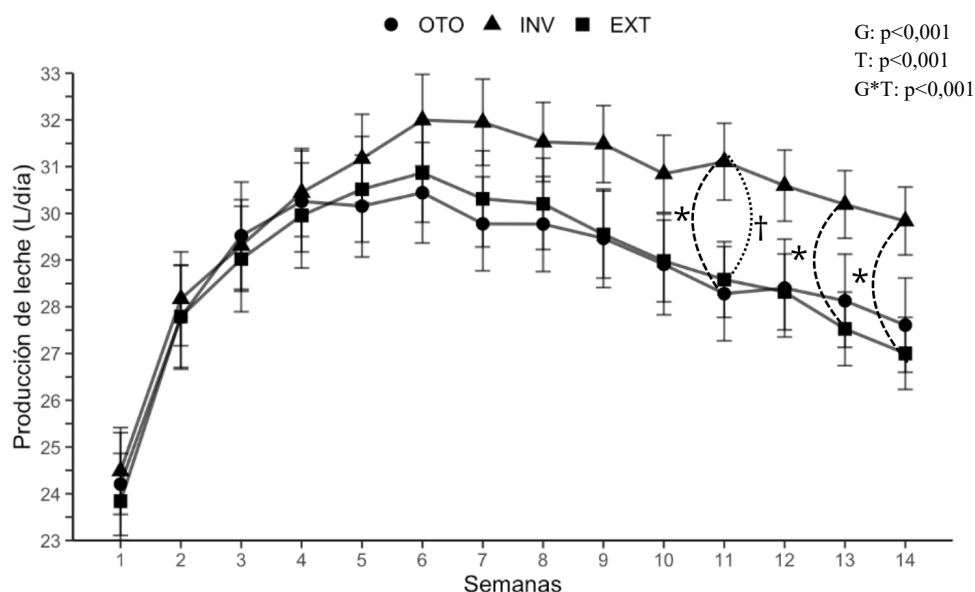


Figura 2. Promedios ($\pm$ EE) de producción de leche (L/día) semanalmente. Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido. G=grupo; T= tiempo y G*T = interacción grupo*tiempo. *= diferencia estadística; † = tendencia de diferencia estadística.

En composición de leche (**Cuadro III**), se observaron diferencias para proteína, lactosa, BHB y MUN entre los grupos ($p < 0,05$) y debido al efecto año, ($p < 0,001$), los resultados se presentan de forma separada para 2023 y 2024. En particular, el grupo OTO presentó mayores concentraciones de proteína ($p < 0,001$) y lactosa ($p < 0,05$) respecto a INV y EXT. En relación al

RCS, los resultados fueron contrastantes entre años – en 2023 el mayor valor fue INV mientras que en el 2024 INV presentó el menor RCS. Para BHB en leche, el grupo EXT tuvo mayores concentraciones ($p < 0,01$) que los grupos INV y OTO, tanto en 2023 como en 2024. Para las concentraciones de MUN, durante 2024, el grupo INV presentó valores menores ($p < 0,001$) que los restantes grupos.

Al evaluar los componentes de la leche por quincenas dentro de cada grupo y año se evidenciaron las variaciones fisiológicas esperadas a lo largo de la lactancia con diferencias ($p < 0,001$) entre grupos (**Figuras 3 y 4**). Además, la interacción grupo $\times$ momento resultó significativa ($p < 0,05$) en la mayoría de las variables (excepto grasa y proteína en kg), indicando los cambios temporales.

Cuadro III. Promedios ($\pm$ EE) de los componentes de la leche en vacas lecheras con diferentes épocas de parto, discriminados por año de muestreo (2023–2024).

Componente	2023			2024			General
	OTO	INV	EXT	OTO	INV	EXT	
Proteína (%)	3,69 $\pm$ 0,09 ^{aA}	3,59 $\pm$ 0,07 ^{aB}	3,57 $\pm$ 0,06 ^{bC}	3,74 $\pm$ 0,07 ^{aA}	3,63 $\pm$ 0,07 ^{aB}	3,64 $\pm$ 0,06 ^{aB}	3,64 $\pm$ 0,07
Grasa (%)	4,64 $\pm$ 0,19 ^{aA}	4,56 $\pm$ 0,19 ^{aA}	4,50 $\pm$ 0,16 ^{aA}	4,51 $\pm$ 0,17 ^{aA}	4,38 $\pm$ 0,14 ^{aA}	4,56 $\pm$ 0,15 ^{aA}	4,52 $\pm$ 0,17
Lactosa (%)	4,82 $\pm$ 0,03 ^{aA}	4,75 $\pm$ 0,04 ^{aA}	4,77 $\pm$ 0,03 ^{aA}	4,72 $\pm$ 0,03 ^{bA}	4,69 $\pm$ 0,04 ^{bA}	4,69 $\pm$ 0,04 ^{bA}	4,74 $\pm$ 0,04
RCS (x10³cél/ml)	157,60 $\pm$ 57,82 ^{bA}	234,70 $\pm$ 94,73 ^{aA}	154,90 $\pm$ 62,66 ^{aA}	275,57 $\pm$ 194,09 ^{aA}	138,51 $\pm$ 76,27 ^{bB}	204,51 $\pm$ 84,97 ^{aA}	194,30 $\pm$ 95,09
BHB (mmol/L)	0,10 $\pm$ 0,01 ^{bB}	0,09 $\pm$ 0,01 ^{bB}	0,12 $\pm$ 0,01 ^{bA}	0,13 $\pm$ 0,01 ^{aA}	0,12 $\pm$ 0,01 ^{aB}	0,13 $\pm$ 0,01 ^{aA}	0,11 $\pm$ 0,01
MUN (mg/dl)	14,03 $\pm$ 0,83 ^{bA}	13,18 $\pm$ 0,57 ^{aA}	13,70 $\pm$ 0,76 ^{aA}	11,10 $\pm$ 0,67 ^{aA}	9,38 $\pm$ 0,09 ^{bB}	10,92 $\pm$ 0,66 ^{bA}	12,05 $\pm$ 0,60
PROTEINA (kg)	0,02 $\pm$ 0,001 ^{bA}	0,02 $\pm$ 0,001 ^{bA}	0,02 $\pm$ 0,001 ^{bA}	0,05 $\pm$ 0,002 ^{aA}	0,05 $\pm$ 0,002 ^{aA}	0,04 $\pm$ 0,002 ^{aA}	0,03 $\pm$ 0,001
GRASA (kg)	0,03 $\pm$ 0,002 ^{bA}	0,03 $\pm$ 0,001 ^{bA}	0,03 $\pm$ 0,002 ^{bA}	0,06 $\pm$ 0,004 ^{aA}	0,06 $\pm$ 0,003 ^{aA}	0,06 $\pm$ 0,004 ^{aA}	0,04 $\pm$ 0,003

MUN: *milk urea nitrogen* (urea en leche).

EE: error estándar de la media.

Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido.

^{A, B, C} Letras distintas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre grupos (OTO, INV, EXT) dentro de un mismo año.

^{a, b} Letras distintas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre años (2023 vs. 2024) dentro de un mismo grupo.

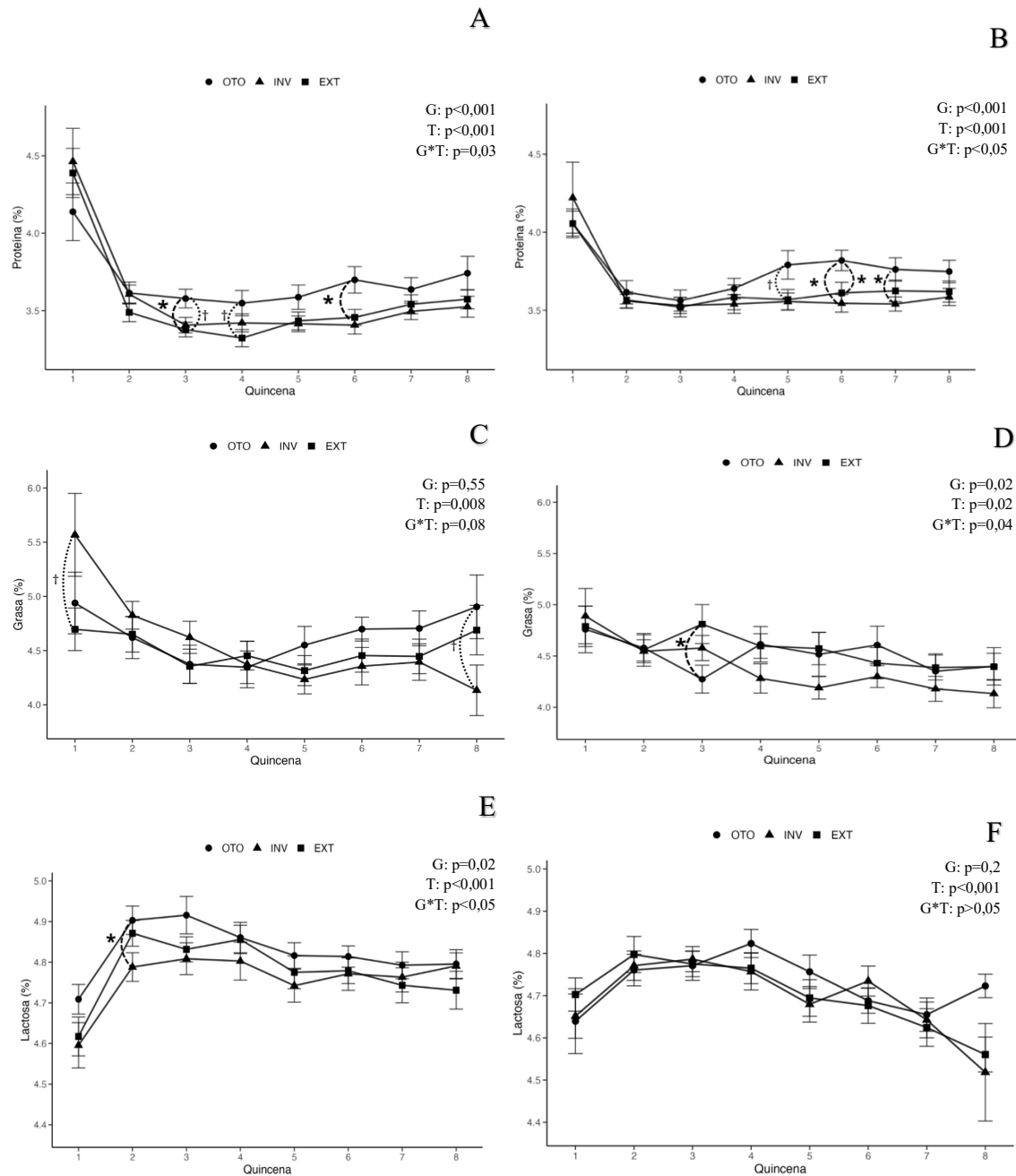


Figura 3. Promedios de componentes de la leche ($\pm$ EE) quincenalmente diferenciada por años (2023 y 2024). Proteína (%) (A) 2023, (B) 2024; Grasa (%) (C) 2023, (D) 2024; Lactosa (%) (E) 2023, (F) 2024. Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido. G=grupo; T= tiempo y G*T = interacción grupo*tiempo. * = diferencia estadística; † = tendencia de diferencia estadística.

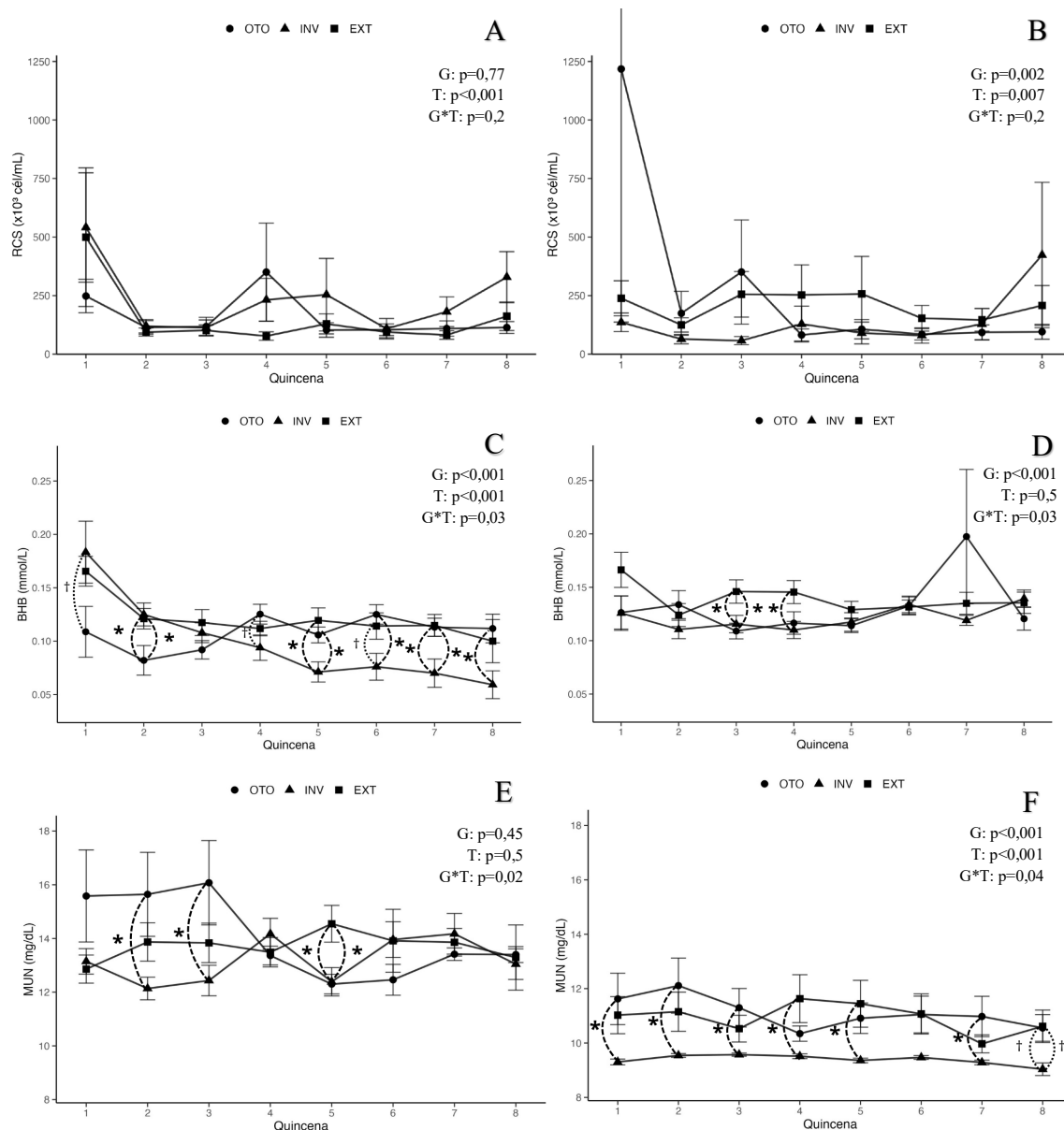


Figura 4. Promedios de componentes de la leche ($\pm$ EE) quincenalmente diferenciada por años (2023 y 2024). RCS (cél/mL) (A) 2023, (B) 2024; BHB (mmol/L) (C) 2023, (D) 2024; MUN (mg/dL) (E) 2023, (F) 2024. Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido. G=grupo; T= tiempo y G*T = interacción grupo*tiempo. *= diferencia estadística; † = tendencia de diferencia estadística.

Peso corporal

El peso corporal fue similar ($p=0,31$) entre los grupos (OTO = $563,63 \pm 9,05$ kg; INV = $549,68 \pm 9,06$ kg y EXT = $544,53 \pm 9,21$ kg). Tampoco se detectaron efectos significativos de la interacción Grupo $\times$ Quincena. Sin embargo, se evidenció una diferencia ($p < 0,001$) entre los años, siendo el peso promedio general menor en 2023 ($553,88 \pm 57,1$) en comparación con 2024 ($560,95 \pm 56,44$).

Condición corporal

El Escore de Condición Corporal (ECC) fue similar ($p = 0,1$) entre los grupos (OTO = $3,00 \pm 0,04$; INV = $2,75 \pm 0,04$; EXT = $3,00 \pm 0,04$), sin embargo, hubo diferencias a lo largo del tiempo ($p<0,001$) independiente del grupo. Además, tampoco hubo efecto en la interacción grupo*momento de evaluación ($p=1$). La variación del ECC a lo largo del tiempo se observa en la Figura 5.

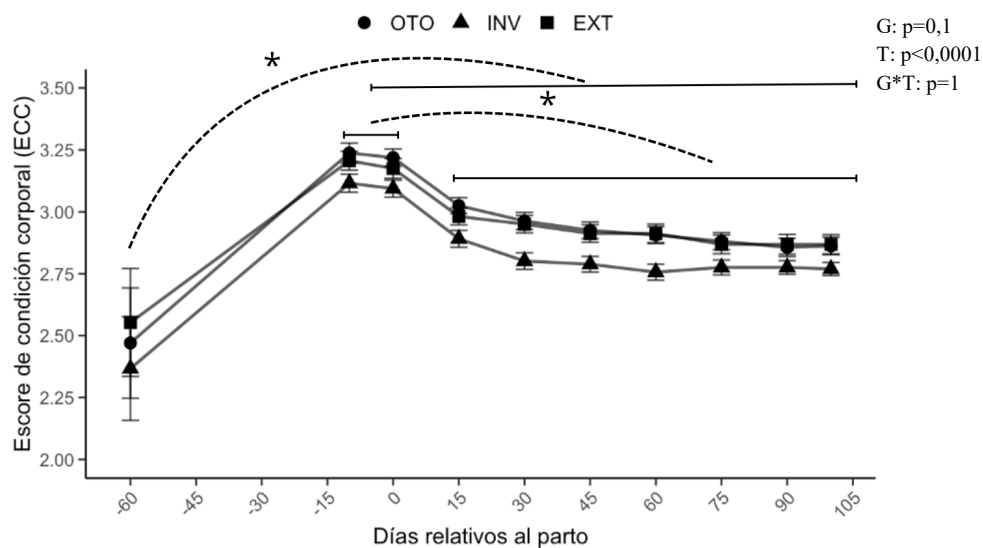


Figura 5. Evolución del ECC ($\pm$ EE) quincenalmente. Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido. G=grupo; T= tiempo y G*T = interacción grupo*tiempo. *= diferencia estadística entre los momentos (días relativos al parto), independiente de los grupos.

pH urinario

Los valores del pH urinario en el parto oscilaron entre los grupos y entre los años ($p < 0,001$). En 2023, los grupos OTO y EXT presentaron valores promedios ($\text{pH}=8,0 \pm 0,5$ y $\text{pH}=7,1 \pm 1,1$, respectivamente) por arriba del rango esperado ($\text{pH} = 5,6 - 7,0$), mientras que INV se mantuvo adecuado con valores de $\text{pH}=6,1 \pm 1,0$. En 2024, el mismo comportamiento fue observado ($\text{INV} = 6,1 \pm 0,5$; $\text{EXT} = 7,2 \pm 0,9$; $\text{OTO} = 7,6 \pm 0,7$).

Ocurrencia de enfermedades

El porcentaje de vacas que presentó al menos un evento subclínico y/o clínico (mastitis, metritis, cetosis, retención de membranas fetales, hipocalcemia clínica u otras) en el posparto fue similar ($p = 0,9$) entre sistemas de parición OTO 48,78%, INV y EXT 50%.

Indicadores reproductivos

No se observaron diferencias significativas entre los años para los parámetros reproductivos evaluados; por ello, los resultados se presentan combinados por grupo en el Cuadro IV. El único parámetro que mostró diferencias significativas entre grupos fue el intervalo parto–primer servicio.

.Cuadro IV Indicadores reproductivos ($\pm$ EE) en vacas lecheras con diferentes épocas de parto entre los años 2023 y 2024.

Grupos	Ciclicidad	Concepción 1 servicio	Concepción final	Pérdidas gestacionales acumuladas*	Servicios concepción	Intervalo parto- 1servicio (días)	Intervalo parto- concepción (días)
OTO	78,0 $\pm$ 6,5%	73,2 $\pm$ 7,0%	73,2 $\pm$ 7,0%	14,6 $\pm$ 6,59%	1,77 $\pm$ 0,12	76,1 $\pm$ 3,4 ^a	111,2 $\pm$ 7,0
INV	65,0 $\pm$ 7,6%	58,5 $\pm$ 7,8%	58,0 $\pm$ 7,8%	19,0 $\pm$ 7,8%	1,67 $\pm$ 0,14	64,0 $\pm$ 1,8 ^b	92,0 $\pm$ 5,8
EXT	70,0 $\pm$ 7,3%	72,5 $\pm$ 7,1%	72,5 $\pm$ 7,1%	5,0 $\pm$ 5%	2,03 $\pm$ 0,18	57,6 $\pm$ 1,8 ^b	100,3 $\pm$ 8,3
P-value	0,36	0,51	0,27	0,58	0,36	<0,001	0,252

^{a,b} Letras distintas indican diferencias entre los grupos. Valores presentados por el promedio $\pm$ error estándar (E.E.). *Pérdidas gestacionales acumuladas: pérdidas entre 30-260 días de gestación – expresado en % animales que tuvieron al menos 1 pérdida gestacional entre el diagnóstico positivo de gestación y el final de la temporada de inseminaciones (pudiendo ser más de una IA).

Perfil Metabólico

Cabe destacar que la toma de muestras de sangre fue realizada en todos los animales pertenecientes a cada época de parto, abarcando los distintos momentos fisiológicos evaluados, con excepción del muestreo preparto del grupo OTO el cual tuvo un menor número de muestras finales evaluadas en el año 2023. No obstante, tras el análisis preliminar de los resultados obtenidos del 2023, se incorporó un momento de muestreo más en el año 2024 (a los 28 días posparto), con el propósito de mejorar la caracterización de la dinámica metabólica durante el período posparto. Los resultados obtenidos bajo estas condiciones se presentan a continuación.

Metabolitos energéticos y minerales

Los niveles de metabolitos asociados al balance energético (Cuadro V) y mineral (Cuadro VI), discriminados por año, época de parto y momento fisiológico, evidenciaron efectos significativos del Año, Grupo y Momento, así como diversas interacciones entre estos factores para varios metabolitos.

Para el BHB, no se detectaron diferencias entre grupos ($p > 0,05$) pero si en momentos fisiológicos ($p < 0,001$), con una interacción triple Año $\times$ Grupo $\times$ Momento ($p < 0,001$). En general, las concentraciones más elevadas se registraron a las 24 horas y a los 40 días posparto. Para los ácidos grasos no esterificados (NEFA), sin variaciones significativas entre grupos ($p > 0,05$), y también en función del momento fisiológico ($p < 0,001$), además, una tendencia entre años ($p < 0,08$) fueron observadas, en que $2023 > 2024$.

Dada la relevancia del número de animales que presentaron valores por encima de los rangos de referencia para estos marcadores, se aplicó una clasificación binomial (menor o mayor que el valor de referencia) con el fin de evaluar su frecuencia. En el caso del BHB, se consideraron valores elevados aquellos superiores a 1,2 mmol/L, siendo dicha concentración, compatible con la cetosis subclínica (Chapinal, 2011; Ospina, 2013), mientras que, para NEFA, se definieron como altos los valores mayores a 0,6 mmol/L (LeBlanc, 2005; Chapinal, 2011). El porcentaje de vacas con cetosis subclínica en el año 2023 fue de 50 % en OTO, 32,3% en INV y 18.2% en EXT, y en 2024 fue de 20,4% en OTO, 26% en INV y 16% en EXT. Para los NEFAs, la frecuencia de valores

elevados fue menor. En 2023, se observaron en el 14 % de las vacas del grupo OTO, el 3,1 % del grupo INV y el 9,1 % del grupo EXT. En 2024, las frecuencias fueron del 8 % en OTO e INV, y del 12,2 % en EXT.

En relación al colesterol, se observó un efecto marcado por el momento fisiológico ($p < 0,001$), acompañado de una interacción significativa Año $\times$ Grupo ($p < 0,001$). El metabolismo lipídico entre años fue dinámico, donde en 2023 las concentraciones más altas se registraron a las 24 horas posparto, mientras en 2024 a los 7 días posparto.

En cuanto a los minerales Ca, P y relación Ca:P, no se identificaron diferencias entre grupos dentro de cada momento y año ($p > 0,05$), sin variaciones significativas entre momentos. Dado que las concentraciones séricas de Ca se situaron mayoritariamente por debajo de los valores de referencia y P está relacionado a ese, pudiendo estar arriba de los valores aceptados, se aplicó una clasificación binomial (mayor o menor al valor de referencia) para evaluar su distribución, siendo que la hipocalcemia subclínica fue definida como $Ca \leq 2,1$ mmol/L y la hiperfosfatemia cuando $P > 2,3$ mmol/L (Goff, 2008). Para el Ca, en 2023 los porcentajes de vacas afectadas de hipocalcemia subclínica fueron 83,3% en EXT, 87,7% en INV y 80% en OTO. En 2024, los grupos EXT e INV mantuvieron valores elevados (89,8% y 82%, respectivamente), mientras que OTO presentó una proporción de 74%, lo que refleja una tendencia consistente entre años. En el caso de la hiperfosfatemia, en 2023 el grupo OTO presentó 14% y EXT 7,6%, mientras que INV presentó la una proporción de 24,6%. de animales afectados. En 2024, el grupo INV tuvo un 46% de hiperfosfatemia OTO un 42% y EXT un 28,6%.

Para las concentraciones séricas de magnesio (Mg), estas se mantuvieron dentro del rango fisiológico, aunque con leves variaciones entre grupos y momentos. Se registraron diferencias significativas aisladas ($p < 0,05-0,01$), principalmente durante el período posparto, acompañadas de un ligero incremento.

Cuadro V. Promedios ($\pm$ EE) de metabolitos energéticos en vacas lecheras, según año, grupo de parto y momento fisiológico (2023–2024).

		2023			2024			
Metabolito	Momento	OTO	INV	EXT	OTO	INV	EXT	General
BHB (mmol/L)								
Referencia								
preparto:	Preparto	0,23 ± 0,05 ^{aBx}	0,92 ± 0,07 ^{aAx}	0,72 ± 0,07 ^{aAx}	0,64 ± 0,16 ^{aAxy}	0,96 ± 0,10 ^{aAx}	0,76 ± 0,15 ^{aAx}	0,70 ± 0,10
0,4-0,5mmol/L								
Referencia								
postparto:	24 hpp	1,85 ± 0,35 ^{aAx}	1,52 ± 0,15 ^{aAx}	0,98 ± 0,08 ^{aAx}	0,79 ± 0,14 ^{bAy}	0,64 ± 0,07 ^{bAx}	0,65 ± 0,06 ^{aAx}	1,05 ± 0,13
0,8-1,2mmol/L								
Chapinal (2011); Ospina (2013).	7 dpp	0,89 ± 0,12 ^{aAx}	0,83 ± 0,13 ^{aAx}	0,80 ± 0,07 ^{aAx}	0,74 ± 0,12 ^{aAxy}	0,81 ± 0,09 ^{aAx}	0,80 ± 0,20 ^{aAx}	0,81 ± 0,12
	28 dpp	ND	ND	ND	1,15 ± 0,40 ^{aAxy}	0,97 ± 0,11 ^{aBx}	0,91 ± 0,21 ^{aAx}	1,01 ± 0,24
	≥40 dpp	2,04 ± 0,44 ^{aAx}	0,91 ± 0,07 ^{aAx}	1,44 ± 0,20 ^{aAx}	0,83 ± 0,17 ^{aAx}	0,96 ± 0,19 ^{aAx}	1,19 ± 0,21 ^{aAx}	1,29 ± 0,22
NEFA (mmol/L)								
Referencia								
preparto:	Preparto	0,14 ± 0,01 ^{aAxy}	0,09 ± 0,01 ^{aAx}	0,17 ± 0,04 ^{aAxy}	0,09 ± 0,01 ^{aAx}	0,06 ± 0,005 ^{aAx}	0,13 ± 0,02 ^{aAxy}	0,11 ± 0,01
0,1-0,4 mmol/L								
Referencia								
postparto:	24 hpp	0,22 ± 0,03 ^{aAy}	0,18 ± 0,03 ^{aAx}	0,20 ± 0,02 ^{aAy}	0,55 ± 0,14 ^{aAx}	0,32 ± 0,06 ^{aAx}	0,47 ± 0,12 ^{aAx}	0,31 ± 0,06
0,1-0,6mmol/L								
LeBlanc (2005); Chapinal (2011).	7 dpp	0,54 ± 0,05 ^{aAx}	0,36 ± 0,09 ^{aAx}	0,55 ± 0,06 ^{aAx}	0,43 ± 0,06 ^{aAx}	0,28 ± 0,06 ^{aAx}	0,42 ± 0,09 ^{aAx}	0,43 ± 0,07
	28 dpp	ND	ND	ND	0,24 ± 0,04 ^{aAx}	0,16 ± 0,02 ^{aAx}	0,26 ± 0,04 ^{aAx}	0,22 ± 0,03
	≥40 dpp	0,24 ± 0,04 ^{aAxy}	0,21 ± 0,02 ^{aAx}	0,25 ± 0,04 ^{aAxy}	0,20 ± 0,03 ^{aAx}	0,16 ± 0,01 ^{aAx}	0,28 ± 0,10 ^{aAx}	0,25 ± 0,05

Colesterol (mmol/L)								
Referencia: 3,8-6,4 mmol/L Goff (2006); Radostitis (2002); Kaneko (2008).	Preparto	2,55 ± 0,17 ^{aAxy}	1,86 ± 0,06 ^{aAxy}	2,08 ± 0,10 ^{aAxy}	1,68 ± 0,08 ^{aAxyz}	1,55 ± 0,13 ^{aAx}	1,65 ± 0,13 ^{aAx}	1,89 ± 0,11
	24 hpp	4,30 ± 0,18 ^{aAxy}	4,00 ± 0,17 ^{aAxy}	4,18 ± 0,14 ^{aAxy}	1,50 ± 0,13 ^{bAz}	1,61 ± 0,13 ^{aAx}	3,68 ± 0,11 ^{aAx}	3,57 ± 0,14
	7 dpp	2,10 ± 0,11 ^{bAy}	1,81 ± 0,11 ^{bAy}	2,24 ± 0,08 ^{aAy}	4,18 ± 0,14 ^{aBx}	4,51 ± 0,12 ^{aAx}	2,11 ± 0,13 ^{aCx}	2,82 ± 0,11
	28 dpp	ND	ND	ND	2,84 ± 0,23 ^{aAxyz}	3,52 ± 0,33 ^{aAx}	3,41 ± 0,20 ^{aAx}	3,26 ± 0,25
	≥40 dpp	4,42 ± 0,22 ^{aAx}	4,30 ± 0,21 ^{aAx}	4,11 ± 0,13 ^{aAx}	3,13 ± 0,22 ^{aAy}	4,50 ± 0,33 ^{aAy}	3,78 ± 0,29 ^{aAx}	4,15 ± 0,24

ND = No disponible (dato no medido).

Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido.

Numero de observaciones analizadas en 2023 (n=50 -55/60, varía de acuerdo con el metabolito) y 2024 (n =30/60).

*hpp: horas postparto; dpp: dias postparto.

^{A,B,C} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre grupos (OTO, INV, EXT) dentro de un mismo año, para cada metabolito.

^{a,b} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre años (2023 vs. 2024) dentro de un mismo grupo, para cada metabolito.

^{x, y, z} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre los momentos dentro del mismo grupo y año, para cada metabolito.

Cuadro VI. Promedios ($\pm$ EE) de metabolitos minerales en vacas lecheras, según año, grupo de parto y momento fisiológico (2023–2024).

		2023			2024			
Metabolito	Momento	OTO	INV	EXT	OTO	INV	EXT	General
Calcio (mmol/L)								
Referencia: 0,8-2,1/2,4 mmol/L Goff (2008); Reinhardt (2011)	Preparto	2,11 ± 0,06 ^{aAx}	1,83 ± 0,06 ^{aAx}	1,91 ± 0,12 ^{aAx}	1,84 ± 0,04 ^{aAx}	1,79 ± 0,02 ^{aAx}	1,83 ± 0,05 ^{aAx}	1,88 ± 0,06
	24 hpp	1,96 ± 0,06 ^{aAx}	1,99 ± 0,04 ^{aAx}	2,08 ± 0,03 ^{aAx}	1,74 ± 0,06 ^{aAx}	1,89 ± 0,05 ^{aAx}	1,82 ± 0,06 ^{aAx}	1,93 ± 0,05
	7 dpp	1,84 ± 0,06 ^{aAx}	1,64 ± 0,15 ^{aAx}	1,68 ± 0,12 ^{aAx}	1,98 ± 0,04 ^{aAx}	2,04 ± 0,04 ^{aAx}	2,00 ± 0,04 ^{aAx}	1,86 ± 0,08
	28 dpp	ND	ND	ND	2,01 ± 0,04 ^{aAx}	1,99 ± 0,05 ^{aAx}	1,96 ± 0,05 ^{aAx}	1,99 ± 0,05
	≥40 dpp	1,96 ± 0,07 ^{aAx}	2,06 ± 0,03 ^{aAx}	2,01 ± 0,04 ^{aAx}	1,98 ± 0,02 ^{aAx}	2,13 ± 0,04 ^{aAx}	2,01 ± 0,03 ^{aAx}	2,03 ± 0,04
Fósforo P (mmol/L)								
Referencia: 1,1-2,3 mmol/L Goff (2008).	Preparto	2,04 ± 0,14 ^{aAx}	2,46 ± 0,08 ^{aAx}	2,18 ± 0,08 ^{aAx}	2,45 ± 0,16 ^{aAx}	2,18 ± 0,09 ^{aAx}	2,11 ± 0,18 ^{aAx}	2,24 ± 0,12
	24 hpp	1,92 ± 0,07 ^{aAx}	2,01 ± 0,09 ^{aAx}	1,97 ± 0,06 ^{aAx}	1,97 ± 0,17 ^{aAx}	2,27 ± 0,14 ^{aAx}	1,98 ± 0,11 ^{aAx}	2,02 ± 0,10
	7 dpp	1,56 ± 0,06 ^{aAx}	1,82 ± 0,13 ^{aAx}	1,64 ± 0,08 ^{aAx}	1,94 ± 0,12 ^{aAx}	2,41 ± 0,13 ^{aAx}	1,87 ± 0,14 ^{aAx}	1,87 ± 0,11
	28 dpp	ND	ND	ND	2,38 ± 0,15 ^{aAxy}	2,46 ± 0,13 ^{aAx}	2,06 ± 0,08 ^{aAx}	2,30 ± 0,12
	≥40 dpp	1,94 ± 0,08 ^{aAx}	2,01 ± 0,08 ^{aAx}	1,98 ± 0,06 ^{aAx}	2,35 ± 0,18 ^{aAxy}	2,54 ± 0,19 ^{aAx}	2,30 ± 0,09 ^{aAx}	2,18 ± 0,10
Ca:P (mol/mol)								
Referencia: 1,1-1,6 mol/mol Goff (2008).	Preparto	1,03 ± 0,04 ^{aAx}	0,75 ± 0,03 ^{aAx}	0,89 ± 0,07 ^{aAx}	0,77 ± 0,04 ^{aAx}	0,83 ± 0,03 ^{aAx}	0,93 ± 0,10 ^{aAx}	0,87 ± 0,05
	24 hpp	1,04 ± 0,05 ^{aAx}	1,02 ± 0,04 ^{aAx}	1,07 ± 0,03 ^{aAx}	0,95 ± 0,10 ^{aAx}	0,86 ± 0,05 ^{aAx}	0,94 ± 0,04 ^{aAx}	0,98 ± 0,04
	7 dpp	1,19 ± 0,05 ^{aAx}	0,89 ± 0,05 ^{aAx}	1,04 ± 0,08 ^{aAx}	1,05 ± 0,07 ^{aAx}	0,87 ± 0,05 ^{aAx}	1,12 ± 0,08 ^{aAx}	1,03 ± 0,06
	28 dpp	ND	ND	ND	0,88 ± 0,06 ^{aAx}	0,84 ± 0,06 ^{aAx}	0,96 ± 0,04 ^{aAx}	0,89 ± 0,05
	≥40 dpp	1,03 ± 0,06 ^{aAx}	1,04 ± 0,03 ^{aAx}	1,03 ± 0,03 ^{aAx}	0,75 ± 0,08 ^{aAx}	0,87 ± 0,06 ^{aAx}	0,88 ± 0,03 ^{aAx}	0,96 ± 0,04
Mg (mmol/L)								
Referencia: 0,6 -1,1 mmol/L Referencia: 0,8-1,1 mmol/L Goff (2008).	Preparto	0,77 ± 0,03 ^{aAx}	0,71 ± 0,02 ^{aAxy}	0,76 ± 0,04 ^{aAxy}	1,05 ± 0,21 ^{aAx}	0,85 ± 0,02 ^{aAx}	0,85 ± 0,03 ^{aAx}	0,83 ± 0,06
	24 h dpp	0,92 ± 0,01 ^{aAx}	0,87 ± 0,02 ^{aAxy}	0,93 ± 0,02 ^{aAxy}	0,87 ± 0,05 ^{aAx}	0,90 ± 0,03 ^{aAx}	0,95 ± 0,02 ^{aAx}	0,92 ± 0,02
	7 dpp	0,87 ± 0,02 ^{aAx}	0,77 ± 0,02 ^{bAy}	0,80 ± 0,02 ^{aAy}	0,89 ± 0,03 ^{aAx}	0,96 ± 0,02 ^{aAx}	0,84 ± 0,01 ^{aAx}	0,85 ± 0,02
	28 dpp	ND	ND	ND	0,95 ± 0,04 ^{aAx}	1,01 ± 0,02 ^{aAax}	0,91 ± 0,03 ^{aAx}	0,96 ± 0,03
	≥40 dpp	0,91 ± 0,01 ^{aAx}	0,94 ± 0,02 ^{aBx}	0,92 ± 0,02 ^{aAx}	0,91 ± 0,02 ^{aAx}	0,97 ± 0,05 ^{ax}	0,88 ± 0,02 ^{aAx}	0,92 ± 0,03

ND = No disponible (dato no medido).

Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido.

Numero de observaciones analizadas en 2023 (n=50 -55/60, varía de acuerdo con el metabolito) y 2024 (n =30/60).

*hpp: horas postparto; dpp: días postparto.

^{A,B,C} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre grupos (OTO, INV, EXT) dentro de un mismo año, para cada metabolito.

^{a,b} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre años (2023 vs. 2024) dentro de un mismo grupo, para cada metabolito.

^{x,y} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre los momentos dentro del mismo grupo y año, para cada metabolito.

Enzimas hepáticas y proteínas plasmáticas

La actividad de aspartato aminotransferasa (AST) no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) y de manera similar, la gamma-glutamyl transferasa (GGT) solo presentó tendencia de diferir entre momentos ($p < 0,07$), con picos a las 24 horas posparto y un leve incremento hacia más de 40 días (**Cuadro VII**).

En relación con las proteínas plasmáticas (**Cuadro VIII**), las concentraciones de proteínas totales variaron a lo largo del tiempo ($p < 0,001$), evidenciando una disminución tras el parto y una recuperación progresiva hacia los 40 días posparto. Asimismo, se observaron interacciones ($p=0,03$) entre Año y Grupo. La albúmina presentó diferencias entre momentos ($p < 0,01$), caracterizadas por un pico a los 24h postparto y una disminución posterior seguida de una recuperación gradual, sin diferencias entre grupos dentro de un mismo año ($p > 0,05$).

Las globulinas variaron principalmente en función del momento fisiológico ($p < 0,001$), mostrando un aumento progresivo durante el período posparto. Las concentraciones de urea sérica no evidenciaron diferencias entre grupos ($p>0,05$), años y momentos ($p < 0,001$). Para todos los grupos, los valores aumentaron inmediatamente después del parto y tendieron a estabilizarse hacia los 28–40 días posparto, con valores más marcados en 2023.

Cuadro VII. Promedios ($\pm$ EE) de enzimas hepáticas en vacas lecheras, según año, grupo de parto y momento fisiológico (2023–2024).

		2023			2024			
Indicador	Momento	OTO	INV	EXT	OTO	INV	EXT	General
AST (U/L)								
Referencia: 50-110 (U/L) Radostitis (2002)	Preparto	42,20 ± 3,90 ^{aA}	54,81 ± 4,35 ^{aA}	58,03 ± 6,51 ^{aA}	54,78 ± 2,42 ^{aA}	68,79 ± 9,06 ^{aA}	74,34 ± 7,28 ^{aA}	58,82 ± 5,58
	24 hpp	67,92 ± 2,77 ^{aA}	70,1 ± 2,68 ^{aA}	71,88 ± 3,91 ^{aA}	74,39 ± 4,65 ^{aA}	86,08 ± 3,45 ^{aA}	85,36 ± 5,53 ^{aA}	78,96 ± 3,99
	7 dpp	70,08 ± 2,60 ^{aA}	61,55 ± 2,13 ^{aA}	62,71 ± 3,00 ^{aA}	84,36 ± 6,91 ^{aA}	86,44 ± 7,49 ^{aA}	87,42 ± 3,98 ^{aA}	73,92 ± 4,35
	28 dpp	ND	ND	ND	71,47 ± 3,42 ^{aA}	78,37 ± 7,13 ^{aA}	67,34 ± 5,70 ^{aA}	72,39 ± 5,42
	≥40 dpp	66,87 ± 3,46 ^{aA}	70,33 ± 2,86 ^{aA}	66,56 ± 2,08 ^{aA}	60,69 ± 2,88 ^{aA}	78,65 ± 6,73 ^{aA}	76,02 ± 7,23 ^{aA}	72,40 ± 4,93
GGT (U/L)								
Referencia: 3-39 U/L Goff (2006); Radostitis (2002); Kaneko (2008)	Preparto	24,90 ± 2,50 ^{aA}	16,72 ± 1,44 ^{aA}	17,71 ± 2,72 ^{aA}	20,17 ± 1,61 ^{aA}	24,08 ± 1,27 ^{aA}	21,18 ± 2,00 ^{aA}	20,79 ± 1,92
		28,22 ± 1,69 ^{aA}	25,50 ± 1,79 ^{aA}	22,86 ± 1,26 ^{aA}	30,42 ± 4,39 ^{aA}	27,15 ± 5,51 ^{aA}	27,15 ± 5,51 ^{aA}	26,88 ± 3,36
	24 hpp							
	7 dpp	26,44 ± 2,03 ^{aA}	23,49 ± 2,08 ^{aA}	21,80 ± 1,52 ^{aA}	24,56 ± 2,15 ^{aA}	29,5 ± 4,95 ^{aA}	22,69 ± 2,13 ^{aA}	24,74 ± 2,48
	28 dpp	ND	ND	ND	25,51 ± 2,01 ^{aA}	27,21 ± 1,37 ^{aA}	24,92 ± 1,57 ^{aA}	25,88 ± 1,55
	≥40 dpp	28,63 ± 2,09 ^{aA}	24,6 ± 1,69 ^{aA}	24,86 ± 1,46 ^{aA}	30,68 ± 2,36 ^{aA}	29,31 ± 2,62 ^{aA}	29,31 ± 2,62 ^{aA}	27,90 ± 2,14

ND = No disponible (dato no medido).

Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido.

Numero de observaciones analizadas en 2023 (n=50 -55/60, varía de acuerdo con el metabolito) y 2024 (n =30/60).

*hpp: horas postparto; dpp: dias postparto

^{A,B,C} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre grupos (OTO, INV, EXT) dentro de un mismo año, para cada metabolito.

^{a,b} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre años (2023 vs. 2024) dentro de un mismo grupo, para cada metabolito.

Cuadro VIII. Promedios ($\pm$ EE) de proteínas plasmáticas en vacas lecheras, según año, grupo de parto y momento fisiológico (2023–2024).

Indicador	Momento	2023			2024			General
		OTO	INV	EXT	OTO	INV	EXT	
Proteína (mmol/L)								
Referencia: 66-90 mmol/L Goff (2006); Radostitis (2002); Kaneko (2008).	Preparto	70 ± 0,20 ^{aAxyz}	64,88 ± 1,76 ^{aAxyz}	64,39 ± 2,33 ^{aAxyz}	67,65 ± 1,74 ^{aAxy}	64,31 ± 2,43 ^{aAxy}	71,30 ± 3,00 ^{aAxy}	67,08 ± 1,91
		76,53 ± 0,95 ^{aAy}	77,51 ± 1,09 ^{aAx}	73,76 ± 1,22 ^{aAy}	68,74 ± 1,34 ^{bAy}	67,25 ± 1,22 ^{bAxy}	68,53 ± 1,33 ^{aAy}	72,05 ± 1,19
	24 hpp							
	7 dpp	66,29 ± 1,50 ^{aAz}	63,31 ± 3,37 ^{aAz}	62,95 ± 1,47 ^{aAz}	73,26 ± 2,02 ^{aAxy}	67,41 ± 1,28 ^{aAy}	71,81 ± 1,95 ^{aAxy}	67,50 ± 1,76
	28 dpp	ND	ND	ND	76,58 ± 1,15 ^{aAxy}	75,49 ± 1,68 ^{aAxy}	78,50 ± 1,05 ^{aAxy}	76,85 ± 1,05
≥40 dpp	76,59 ± 1,03 ^{aAx}	76,90 ± 1,41 ^{aAy}	75,48 ± 0,80 ^{aAx}	77,80 ± 1,04 ^{aAx}	77,02 ± 1,38 ^{aAx}	77,50 ± 1,12 ^{aAx}	76,83 ± 1,14	
Albumina (mmol/L)								
Referencia: 29-41 mmol/L Goff (2006); Radostitis (2002); Kaneko (2008).	Preparto	36,95 ± 3,15 ^{aAxyz}	37,14 ± 0,50 ^{aAx}	36,5 ± 0,72 ^{aAx}	32,58 ± 0,84 ^{aAx}	31,59 ± 0,74 ^{bAx}	32,54 ± 0,73 ^{bAx}	34,55 ± 1,11
		40,40 ± 0,70 ^{aAy}	38,02 ± 0,64 ^{aAx}	36,26 ± 0,75 ^{aAx}	34,06 ± 1,30 ^{aAx}	35,19 ± 0,68 ^{bAx}	32,57 ± 1,02 ^{aAx}	35,83 ± 0,80
	24 hpp							
	7 dpp	35,41 ± 0,66 ^{aAz}	33,70 ± 0,91 ^{aAx}	32,87 ± 1,07 ^{aAx}	32,06 ± 1,14 ^{aAx}	33,9 ± 1,01 ^{aAx}	33,07 ± 1,02 ^{aAx}	33,50 ± 0,97
	28 dpp	ND	ND	ND	35,51 ± 0,74 ^{aAx}	35,13 ± 1,02 ^{aAx}	34,49 ± 1,07 ^{aAx}	34,97 ± 0,95
≥40 dpp	40,66 ± 0,68 ^{aAx}	38,06 ± 0,81 ^{aAx}	37,78 ± 0,71 ^{aAx}	34,90 ± 0,76 ^{aAx}	36,14 ± 0,66 ^{aAx}	35,10 ± 1,19 ^{aAx}	37,14 ± 0,87	
Globulina (mmol/L)								
Referencia: 28-52 mmol/L Goff (2006); Radostitis (2002); Kaneko (2008).	Preparto	33,05 ± 2,95 ^{aAx}	27,73 ± 1,78 ^{aAxy}	27,89 ± 2,29 ^{aAx}	35,07 ± 1,98 ^{aAxyz}	32,72 ± 2,57 ^{aAxy}	38,75 ± 3,26 ^{aAx}	32,53 ± 2,47
		32,51 ± 2,66 ^{aAx}	39,49 ± 1,41 ^{aAx}	37,5 ± 0,95 ^{aAx}	34,68 ± 1,38 ^{aAz}	32,06 ± 1,11 ^{aAxy}	35,96 ± 1,98 ^{aAx}	35,58 ± 1,58
	24 hpp							
	7 dpp	26,00 ± 2,95 ^{bAx}	27,14 ± 3,36 ^{aAy}	30,08 ± 1,58 ^{aAx}	41,20 ± 2,66 ^{aAxyz}	33,51 ± 0,94 ^{aAy}	38,74 ± 2,28 ^{aAx}	32,77 ± 2,30
	28 dpp	ND	ND	ND	41,27 ± 1,23 ^{aAy}	40,36 ± 0,99 ^{aAxy}	44,01 ± 1,76 ^{aAx}	41,88 ± 1,33
≥40 dpp	35,92 ± 0,87 ^{aAx}	38,84 ± 1,32 ^{aBx}	37,69 ± 0,87 ^{aCx}	41,90 ± 1,30 ^{aAx}	40,88 ± 1,04 ^{aAx}	42,40 ± 0,90 ^{aAx}	39,69 ± 0,98	
Urea (mmol/L)								

Referencia: 2,6-7 mmol/L Goff (2006); Radostitis (2002); Kaneko (2008).	Preparto	3,87 ± 0,15 ^{aAx}	5,62 ± 0,33 ^{aAx}	4,74 ± 0,63 ^{aAxy}	5,51 ± 0,38 ^{aAx}	4,90 ± 0,41 ^{aAx}	4,40 ± 0,31 ^{aAx}	4,84 ± 0,37
		6,18 ± 0,29 ^{aAx}	5,68 ± 0,42 ^{aAx}	5,10 ± 0,30 ^{aAxy}	4,24 ± 0,41 ^{aAx}	5,11 ± 0,51 ^{aAx}	4,94 ± 0,61 ^{aAx}	5,32 ± 0,56
	24 hpp							
	7 dpp	4,27 ± 0,28 ^{aAx}	4,11 ± 0,28 ^{aAx}	3,53 ± 0,25 ^{aAy}	3,68 ± 0,45 ^{aAx}	4,20 ± 0,21 ^{aAx}	4,07 ± 0,25 ^{aAx}	3,98 ± 0,29
	28 dpp	ND	ND	ND	3,86 ± 0,33 ^{aAx}	4,23 ± 0,33 ^{aAx}	3,58 ± 0,21 ^{aAx}	3,89 ± 0,29
	≥40 dpp	6,28 ± 0,35 ^{aAx}	5,13 ± 0,29 ^{aAx}	5,86 ± 0,37 ^{aAy}	3,93 ± 0,45 ^{aAx}	5,20 ± 0,49 ^{aAx}	4,26 ± 0,43 ^{aAx}	5,16 ± 0,39

ND = No disponible (dato no medido).

Grupos: OTO = otoño; INV = invierno; EXT = extendido.

Numero de observaciones analizadas en 2023 (n=50 -55/60, varía de acuerdo con el metabolito) y 2024 (n =30/60).

*hpp: horas postparto; dpp: días postparto.

^{A,B,C} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre grupos (OTO, INV, EXT) dentro de un mismo año, para cada metabolito.

^{a,b} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre años (2023 vs. 2024) dentro de un mismo grupo, para cada metabolito.

^{x, y} Letras distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre los momentos dentro del mismo grupo y año, para cada metabolito.

7. DISCUSIÓN

El presente estudio aborda por primera vez de forma integral la interacción de factores nutricionales, ambientales y de manejo inherentes al sistema productivo en condiciones del hemisferio sur sobre la salud y reproducción de vacas lecheras, evaluando no sólo dos épocas compactas (otoño e invierno) sino también un sistema de parición extendida, lo que permite una visión más completa de la dinámica metabólica y reproductiva en estos modelos de producción. Los resultados obtenidos indican que, si bien la EP influye significativamente en el perfil metabólico periparto, este impacto no se traduce de manera directa o consistente en el estado de salud general ni en los resultados reproductivos a nivel de rodeo. La hipótesis inicial, que proponía un perfil metabólico más desfavorable y un menor desempeño para las vacas con parto en otoño en comparación con las de invierno, con respuestas intermedias o variables para el grupo extendido, se cumple parcialmente. Se confirmaron diferencias metabólicas entre épocas, particularmente en la movilización lipídica y la cetogénesis durante el periparto y el pico de lactancia, siendo más marcadas en el grupo OTO en 2023. Sin embargo, la gran capacidad homeostática de los animales, posiblemente mediada por adaptaciones al manejo pastoril, parece haber amortiguado las consecuencias clínicas y reproductivas de dichas diferencias.

Las diferencias metabólicas entre épocas de parto se manifestaron principalmente en el perfil energético, con patrones contrastantes en BHB y NEFA. El grupo OTO presentó las concentraciones más elevadas de BHB durante el periparto temprano y el pico de lactancia, indicando una mayor movilización lipídica y cetogénesis. El grupo EXT, por su parte, mostró valores intermedios, pero mayor variabilidad interanual, particularmente en NEFA durante el posparto inmediato. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos en sistemas pastoriles, donde vacas que paren en otoño enfrentan forrajes de menor energía metabolizable y condiciones climáticas adversas que exacerban el balance energético negativo (García & Holmes, 2001; Kay et al., 2015). Sin embargo, la alta frecuencia de hipercetonemia observada ($>20\%$ de animales con BHB >1.2 mmol/L en todos los grupos) sugiere que el riesgo metabólico es inherente al sistema pastoril más allá de la época de parto específica. Esta elevada prevalencia concuerda con el carácter potencialmente cetogénico de las dietas basadas en pasturas, donde la fermentación ruminal y la oferta energética variable puede promover la cetogénesis independientemente del grado de lipólisis (Roche, 2010; Spaans, 2022; Mendina, 2024).

Por lo tanto, los valores de BHB registrados, aunque más elevados en el grupo OTO, podrían reflejar en parte la fisiología adaptativa al pastoreo más que un desbalance metabólico severo, lo que explicaría su disociación con el estado de salud clínico.

La falta de una relación directa entre los marcadores metabólicos elevados y la incidencia de enfermedades clínicas o reducción del performance reproductivo sustancial coincide con la premisa de que no todos los episodios de hipercetonemia subclínica derivan en situaciones clínicas y directas en la producción (Gross et al., 2011). Esta disociación sugiere que los picos metabólicos fueron mayormente transitorios y que un manejo adecuado del período de transición puede mitigar su impacto clínico (LeBlanc, 2005). De manera crítica, la ausencia de alteraciones marcadas en enzimas hepáticas (AST, GGT) y en los marcadores del metabolismo proteico (proteínas totales, albúmina) confirma que, a pesar del desafío energético, no se produjo un daño hepático significativo ni una descompensación sistémica. Esto es coherente con lo reportado en sistemas pastoriles adaptativos (Spaans et al., 2022; Bobe et al., 2004), refuerza la noción de que el estrés metabólico fue de magnitud moderada y controlado por mecanismos homeostáticos.

Un hallazgo relevante fue la elevada prevalencia de hipocalcemia subclínica (>70%) y de casos de hiperfosfatemia observada en todos los grupos, independientemente de la época de parto. Esta alta frecuencia, junto con los valores de pH urinario más alcalinos en los grupos OTO y EXT, señala la existencia de factores nutricionales sistémicos en el manejo pastoril que predisponen a desequilibrios minerales durante la transición, tal como ha sido documentado previamente (Mulligan y Doherty, 2008; Lean et al., 2006). La estabilidad en los niveles de magnesio y la relación Ca:P sugiere, sin embargo, que estos desbalances podrían estar asociados más al manejo nutricional predial que a la época de parición en sí misma.

Los parámetros reproductivos evaluados no mostraron diferencias significativas entre épocas de parto, lo que contrasta parcialmente con la hipótesis inicial. La ausencia de un efecto negativo consistente sobre la ciclicidad, concepción y pérdidas gestacionales sugiere que el estrés metabólico registrado no fue de magnitud suficiente para comprometer la función reproductiva a nivel poblacional. El único parámetro que difirió entre grupos fue el intervalo parto-primer servicio, que parece haber estado determinado principalmente por el manejo reproductivo programado del establecimiento

(especialmente el período de espera voluntario más prolongado para el grupo OTO) y no por limitaciones fisiológicas intrínsecas de los animales. Este resultado subraya la capacidad de las vacas en sistemas pastoriles de priorizar la función reproductiva incluso en contextos metabólicamente desafiantes (Mendina, 2024; Butler, 2014).

La producción de leche durante los primeros 100 días fue mayor en el grupo INV, seguido por OTO y EXT. Este patrón refleja la sincronía entre el pico de lactancia y la disponibilidad estacional de forraje de mayor calidad. Este hallazgo es consistente con la evidencia que señala que la alineación entre la demanda nutricional máxima y el pico de crecimiento del pasto en la primavera optimiza la producción en sistemas pastoriles (Spaans et al., 2019; García y Holmes, 2001). Las diferencias en la composición de la leche entre grupos y años refuerzan el concepto de que la interacción entre la curva de lactancia y la calidad nutricional de la dieta base es dinámica y está modulada por la estacionalidad (Timlin et al., 2021).

En síntesis, los resultados de este estudio indican que la época de parto en sistemas pastoriles modula el perfil metabólico y la producción de leche principalmente a través de su interacción con la oferta forrajera estacional. Si bien se confirmó un mayor estrés energético en vacas que paren en otoño, la excelente capacidad adaptativa de los animales, posiblemente potenciada por prácticas de manejo adecuadas, amortiguó las consecuencias clínicas y reproductivas de estas alteraciones. Estos hallazgos aportan información valiosa para refinar las estrategias de manejo del período de transición, ajustándolas a la época de parto y a las condiciones específicas del sistema, con el fin de promover la salud, el bienestar y la productividad sostenible del rodeo lechero pastoril.

8. CONCLUSIONES

En sistemas pastoriles, la época de parto modula el perfil metabólico periparto, con un mayor desafío energético para las vacas que paren en otoño y un perfil más estable para las de invierno. Sin embargo, esta influencia no se traduce en diferencias consistentes en el estado de salud clínico ni en los parámetros reproductivos a nivel poblacional, destacando la notable capacidad adaptativa de los animales en este sistema. La alta prevalencia de hipercetonemia e hipocalcemia subclínica observada en todos los grupos sugiere que estos riesgos metabólicos son inherentes al manejo pastoril más que específicos de la época de parto. Desde el punto de vista productivo, las vacas con partos en invierno mostraron una mayor producción láctea inicial, reflejando una mejor sincronía entre el pico de lactancia y la disponibilidad estacional de forraje de calidad. En conjunto, los hallazgos indican que las variaciones en el desempeño animal responden principalmente a la interacción dinámica entre la época de parto, la oferta forrajera y las prácticas de manejo implementadas. Por lo tanto, la optimización del manejo nutricional, sanitario y reproductivo durante la transición emerge como una estrategia prioritaria para mejorar la eficiencia en sistemas pastoriles, potencialmente con mayor impacto que la modificación de la distribución estacional de los partos.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Afsahi A, et al. (2020). Comparative evaluation of urinary dipstick and pH-meter for measuring urine pH in dairy cattle. *Vet Anim Sci* 10:100141.
2. Agrociencia Uruguay. (2022). In our country, since livestock systems are based on grazing, milk production accompanies the seasonal production of pastures. *Agrociencia Uruguay* 26(1):1110.
3. Barca J, Meikle A, Bouman M, Gnemmi G, Ruiz R, Schukken YH. (2021a). Effect of pegbovigrastim on clinical mastitis and uterine disease during a full lactation in grazing dairy cows. *PLoS ONE* 16:e0252418.
4. Barca J, Schukken YH, Meikle A. (2021b). Increase in white blood cell counts by pegbovigrastim in primiparous and multiparous grazing dairy cows and interaction with prepartum body condition score and nonesterified fatty acids concentration. *PLoS ONE* 16:e0245149.
5. Barca J, Meikle A, Bouman M, Schukken YH. (2022). Effect of pegbovigrastim on fertility and culling in grazing dairy cows and its association with prepartum nonesterified fatty acids. *J Dairy Sci* 105:710–725.
6. Barca J, Schukken YH, Meikle A, Chilibraste P, Bouman M, Hogeveen H. (2023). Pegbovigrastim treatment resulted in an economic benefit in a large randomized clinical trial in grazing dairy cows. *J Dairy Sci*.
7. Barkema HW, Schukken YH, Lam TJGM, Beiboer ML, Wilmink H, Benedictus G, Brand A. (1998). Incidence of clinical mastitis in dairy herds grouped in three categories by bulk milk somatic cell counts. *J Dairy Sci* 81:411–419.
8. Bauman DE, Currie WB. (1980). Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J Dairy Sci* 63:1514–1529.
9. Bendixen PH, Vilson B, Ekesbo I, Åstrand DB. (1986). Disease frequencies of tied zero-grazing dairy cows and of dairy cows on pasture during summer and tied during winter. *Prev Vet Med* 4:291–306.
10. Bobe G, Young JW, Beitz DC. (2004). Pathology, etiology, prevention, and treatment of fatty liver in dairy cows. *J Dairy Sci* 87:3105–3124.
11. Bruun A, Ersbøll AK, Alban L. (2002). Risk factors for metritis in Danish dairy cows. *Prev Vet Med* 54:179–190.
12. Butler WR. (2003). Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livest Prod Sci* 83:211–218.
13. Butler ST. (2014). Nutritional management to optimize fertility of dairy cows in pasture-based systems. *Anim* 8(Suppl. 1):15–26.
14. Bryant JR, Ogle G, Marshall PR, Glassey CB, Lancaster JAS, García SC, Holmes CW. (2010). *New Zealand J Agric Res* 53:13–28.
15. Carrier J, Stewart S, Godden S, Fetrow J, Rapnicki P. (2004). Evaluation and use of three cow-side tests for detection of subclinical ketosis in early postpartum cows. *J Dairy Sci* 87:3725–3735.
16. Carvalho M, Peñagaricano F, Santos J, DeVries T, McBride B, Ribeiro E. (2019). Long-term effects of postpartum clinical disease on milk production, reproduction, and culling of dairy cows. *J Dairy Sci* 102:11701–11717.
17. Caixeta LS, Ospina PA, Capel MB, Nydam DV. (2017). Association between subclinical hypocalcemia in the first 3 days of lactation and reproductive performance of dairy cows. *Theriogenology* 94:1–7.

18. Chapinal N, Carson M, LeBlanc SJ, Leslie KE, Godden S, Capel M, Santos JE, Overton M, Duffield TF. (2011). Association of serum metabolites in the transition period with milk production and early-lactation reproductive performance. *J Dairy Sci* 94:4898–4909.
19. Contreras GA, Sordillo LM. (2011). Lipid mobilization and inflammatory responses during the transition period of dairy cows. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* 34:281–289.
20. Cruz I, Pereira I, Rupprechter G, Barca J, Meikle A, Larriestra A. (2021). Clinical disease incidence during early lactation, risk factors and association with fertility and culling in grazing dairy cows in Uruguay. *Prev Vet Med* 191:105359.
21. Curtis C, Erb H, Sniffen C, Smith D, Kronfeld D. (1985). Path analysis of dry period nutrition, postpartum metabolic and reproductive disorders, and mastitis in Holstein cows. *J Dairy Sci* 68:2347–2360.
22. Daros RR, Weary DM, von Keyserlingk MAG. (2022). Invited review: Risk factors for transition period disease in intensive grazing and housed dairy cattle. *J Dairy Sci* 105:4734–4748.
23. DIEA-MGAP. (2024). Anuario estadístico 2024. Anuario Estadístico Agropecuario.
24. Duffield T, LeBlanc S, Leslie K. (2005). Impact of subclinical metabolic disease on risk of early lactation culling. *J Dairy Sci* 88(Suppl. 1).
25. Duffield T, Lissemore K, McBride B, Leslie K. (2009). Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *J Dairy Sci* 92:571–580.
26. Drackley JK. (1999). Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *J Dairy Sci* 82:2259–2273.
27. Edmonson AJ, Lean J, Weaver LD, Farver T, Webster GA. (1989). A body condition scoring chart for Holstein cows. *J Dairy Sci* 72:68–78.
28. Esposito G, Irons PC, Webb EC, Chapwanya A. (2014). Interactions between negative energy balance, metabolic diseases, uterine health, and reproductive performance in dairy cows. *Anim Reprod Sci* 144:60–75.
29. Fariña S. (2017). Sistema de pastoreo La Estanzuela. *Boletín de divulgación* 115:3–12.
30. Fariña SR, Chilbroste P. (2019). Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: The case of farm systems in Uruguay. *Agric Syst* 176:102631.
31. Fourichon C, Seegers H, Malher X. (2000). Effect of disease on reproduction in the dairy cow: A meta-analysis. *Nat Lang Eng* 11:67–86.
32. Galvão KN. (2013). Uterine diseases in dairy cows: Understanding the causes and seeking solutions. *Anim Reprod* 10:228–238.
33. Galligan D. (2006). Economic assessment of animal health performance. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 22:207–227.
34. Gao J, Barkema HW, Zhang L, Liu G, Deng Z, Cai L, Shan R, Zhang S, Zou J, Kastelic JP, Han B. (2017). Incidence of clinical mastitis and distribution of pathogens on large Chinese dairy farms. *J Dairy Sci* 100:4797–4806.
35. García SC, Holmes CW. (2001). Lactation curves of autumn- and spring-calved cows in pasture-based dairy systems. *Livest Prod Sci* 68:189–203.
36. Goff JP. (2006). Major advances in our understanding of nutritional influences on bovine health. *J Dairy Sci* 89:1292–1301.
37. Goff JP. (2008). The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *Vet J* 176:50–57.

38. Gross JJ, Schwarz FJ, Eder K, van Dorland HA, Bruckmaier RM. (2011). Liver fat content and lipid metabolism in dairy cows during early lactation and feed restriction. *J Dairy Sci* 94:4976–4985.
39. Gross JJ, Bruckmaier RM. (2019). Invited review: Metabolic challenges and adaptation during different functional stages of the mammary gland in dairy cows: Perspectives for sustainable milk production. *J Dairy Sci* 102:2828–2843.
40. Grummer RR. (1995). Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *J Anim Sci* 73:2820–2833.
41. Ham VL, Kliem KE, Crompton L, Gadanakis Y. (2025). Costs of production of all year round vs block calving herds in the UK. *J Dairy Sci*.
42. Herdt TH. (2000). Ruminant adaptation to negative energy balance. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 16:215–230.
43. Herlihy MM, Berry DP, Crowe MA, Diskin MG, Butler ST. (2011). Evaluation of protocols to synchronize estrus and ovulation in seasonal calving pasture-based dairy production systems. *J Dairy Sci* 94:4488–4501.
44. Hogeveen H, van Soest FJS, van der Voort M. (2017). The economic consequences of production diseases in dairy farming. En: Beede DK. Large dairy herd management. 3rd ed. ADSA, pp.1165–1175.
45. Horan B, Mee JF, Rath M, Connor PO, Dillon P. (2004). The effect of strain of Holstein-Friesian cow and feeding system on reproductive performance in seasonal-calving milk production systems. *Anim Sci* 79:453–467.
46. Horan B, Roche JR. (2019). Defining resilience in pasture-based dairy-farm systems in temperate regions. *Anim Prod Sci* 60:55–66.
47. Horst EA, Kvidera SK, Baumgard LH. (2021). Invited review: The influence of immune activation on transition cow health and performance—A critical evaluation of traditional dogmas. *J Dairy Sci* 104:8380–8410.
48. Ingvarsen KL. (2006). Feeding- and management-related diseases in the transition cow: Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feeding-related diseases. *Anim Feed Sci Technol* 126:175–213.
49. Instituto Nacional de la Leche. (s.f.). Uruguay lechero.
50. Jamali H, Barkema HW, Jacques M, Lavallée-Bourget EM, Malouin F, Saini V, Stryhn H, Dufour S. (2018). Invited review: Incidence, risk factors, and effects of clinical mastitis recurrence in dairy cows. *J Dairy Sci* 101:4729–4746.
51. Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livest Prod Sci* 77:59–91.
52. Kandeel SA, Ahmed WA, El-Fouly HM, El-Far EM. (2018). Association of California Mastitis Test scores with somatic cell count and bacteriological findings in dairy cows. *J Vet Intern Med* 32:2104–2110.
53. Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML. (2008). Clinical biochemistry of domestic animals. 6th ed. Academic Press.
54. Kay JK, Loor JJ, Heiser A, McGowan J, Roche JR. (2015). Managing the grazing dairy cow through the transition period: A review. *Anim Prod Sci* 55:936–942.
55. Kelton DF, Lissemore KD, Martin RE. (1998). Recommendations for recording and calculation the incidence of selected clinical diseases of dairy cattle. *J Dairy Sci* 81:2502–2509.
56. Kehrli ME, Neill JD, Burvenich C, Goff JP, Lippolis JD, Reinhardt TA, Nonnecke BJ. (2006). Energy and protein effects on the immune system. En: Ruminant physiology, pp.455–471.
57. Kimura K, Goff JP, Kehrli ME Jr, Reinhardt TA. (2002). Decreased neutrophil function as a cause of retained placenta in dairy cattle. *J Dairy Sci* 85:544–550.

58. Lager K, Jordan E. (2012). The metabolic profile for the modern transition dairy cow. En: Proceedings of the Mid-South Ruminant Nutrition Conference, pp.1–10. Grapevine, Texas.
59. LeBlanc S, Duffield T, Leslie K, Bateman K, Keefe G, Walton J, Johnson W. (2002). Defining and diagnosing postpartum clinical endometritis and its impact on reproductive performance in dairy cows. *J Dairy Sci* 85:2223–2236.
60. LeBlanc S, Leslie K, Duffield T. (2005). Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle. *J Dairy Sci* 88:159–170.
61. LeBlanc S. (2008). Postpartum uterine disease and dairy herd reproductive performance: A review. *Vet J* 176:102–114.
62. LeBlanc S. (2010). Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *J Reprod Dev* 56:29–35.
63. LeBlanc S. (2012). Interactions of metabolism, inflammation, and reproductive tract health in the postpartum period in dairy cattle. *Reprod Domest Anim* 47(Suppl. 5):18–30.
64. Lean IJ, DeGaris PJ, McNeil DM, Block E. (2006). Hypocalcemia in dairy cows: Meta-analysis and dietary cation–anion difference theory. *J Dairy Sci* 89:669–684.
65. Leroy JLMR, Rizos D, Sturmey R, Bossaert P, Gutierrez-Adan A, Van Hoeck V, Valckx S, Bols PEJ. (2011). Intrafollicular conditions as a major link between maternal metabolism and oocyte quality: A focus on dairy cow fertility. *Reprod Fertil Dev* 24:1–12.
66. Loker S, Miglior F, Koeck A, Neuenschwander TF, Bastin C, Jamrozik J, Schaeffer LR, Kelton D. (2012). Relationships between body condition score and health traits in first-lactation Canadian Holsteins. *J Dairy Sci* 95:6770–6780.
67. Mahmmod YS, Toft N, Katholm J, Gröhn YT, Klaas IC. (2013). Bayesian estimation of test characteristics of routine diagnostic methods for subclinical mastitis in dairy cattle. *Prev Vet Med* 109:264–270.
68. Martens H, et al. (2018). Magnesium homeostasis in cattle: Absorption and excretion. *Nutr Res Rev* 31:114–130.
69. Martínez N, Risco CA, Lima FS, Bisinotto RS, Greco LF, Ribeiro ES, Maunsell F, Galvão KN, Santos JEP. (2012). Evaluation of peripartal calcium status, energetic profile, and neutrophil function in dairy cows at low or high risk of developing uterine disease. *J Dairy Sci* 95:7158–7172.
70. Macmillan K, Rakes A, Oikonomou G, Knight C. (2017). Accuracy of a cow-side test for the diagnosis of hyperketonemia and hypoglycemia in lactating dairy cows (FreeStyle Precision Neo™). *Res Vet Sci* 113:227–231.
71. McArt JAA, Nydam DV, Oetzel GR. (2012). Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *J Dairy Sci* 95:5056–5066.
72. Meikle A, Kulcsar M, Chilliard Y, Febel H, Delavaud C, Cavestany D, Chilbroste P. (2004). Effects of parity and body condition at parturition on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction* 127:727–737.
73. Melendez P, Marin MP, Robles J, Rios C, Duchens M, Archbald L. (2009). Relationship between serum nonesterified fatty acids at calving and the incidence of periparturient diseases in Holstein dairy cows. *Theriogenology* 72:826–833.
74. Mendina GR, Damián JP, Meikle A, Méndez MN, Chilbroste P, Adrien ML. (2024). Metabolic adaptation to lactation of dairy cows in two contrasting facilities involving partial confinement plus grazing or total confinement. *Anim Prod Sci* 64.

75. Morales T, Dotti N, Fernández S, Cartaya A, Rupprechter G. (2021). Eficiencia de tres herramientas diagnósticas de cetosis subclínica. *Rev INIA* 65:18–22.
76. Mulligan FJ, Doherty ML. (2008). Production diseases of the transition cow. *Vet J* 176:3–9.
77. Murphy JM. (1956). Mastitis—The struggle for understanding. *J Dairy Sci* 39:1768–1773.
78. NRC. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington DC.
79. O'Donovan M, Hennessy D, Creighton P. (2021). Ruminant grassland production systems in Ireland. *Ir J Agric Food Res* 59:225–232.
80. Ospina PA, Nydam DV, Stokol T, Overton TR. (2010). Evaluation of nonesterified fatty acids and beta-hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *J Dairy Sci* 93:546–554.
81. Overton M, Fetrow J. (2008). Economics of postpartum uterine health. 41st Dairy Cattle Reproduction Council Annual Meeting and Convention, Omaha, NE, pp. 39–43.
82. Overton TR, McArt JAA, Nydam DV. (2017). A 100-year review: Metabolic health indicators and management of dairy cattle. *J Dairy Sci* 100:10398–10417.
83. Pascottini OB, Leroy JLMR, Opsomer G. (2020). Metabolic stress in the transition period of dairy cows: Focusing on the prepartum period. *Animals* 10:1419.
84. Pérez-Báez J, Silva TV, Risco CA, Chebel RC, Cunha F, De Vries A, Santos JEP, Lima FS, Pinedo P, Schuenemann GM, Bicalho RC, Gilbert RO, Rodriguez-Zas R, Seabury CM, Rosa G, Thatcher WW, Galvão KN. (2021). The economic cost of metritis in dairy herds. *J Dairy Sci* 104:3158–3168.
85. Oetzel GR. (2004). Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 20:651–674.
86. Puppel K, Kuczyńska B. (2016). Metabolic profiles of cows' blood: A review. *J Sci Food Agric* 96:4321–4328.
87. Quiroz-Rocha GF, LeBlanc SJ, Duffield T, Wood D, Leslie K, Jacobs RM. (2009). Evaluation of prepartum serum cholesterol and fatty acids concentrations as predictors of postpartum retention of the placenta in dairy cows. *J Am Vet Med Assoc* 234:790–793.
88. Radostits OM, Gay CC, Blood DC, Hinchcliff KW. (2002). *Medicina veterinaria: Tratado sobre las enfermedades de los bovinos, ovinos, suinos, caprinos y equinos*. McGraw Hill, 9ª ed., Madrid, Vol. 2.
89. Reinhardt T, Lippolis J, McCluskey B, Goff J, Horst R. (2011). Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds. *Vet J* 188:122–124.
90. Reist M, Erdin DK, von Euw D, Tschümperlin KM, Leuenberger H, Chilliard Y, Hammon HM, Morel I, Philipona C, Zbinden Y, Künzi N, Blum JW. (2002). Estimation of energy balance at the individual and herd level using blood and milk traits in high-yielding dairy cows. *J Dairy Sci* 85:3314–3327.
91. Ribeiro ES, Lima FS, Ayres H, Greco LF, Bisinotto RS, Favoreto M, Marsola RS, Monteiro APA, Thatcher WW, Santos JEP. (2011). Effect of postpartum diseases on reproduction of grazing dairy cows. *J Dairy Sci* 94(E-Suppl. 1):63 (Abstr.).
92. Ribeiro E, Gomes G, Greco L, Cerri R, Vieira-Neto A, Monteiro P, Lima F, Bisinotto R, Thatcher W, Santos J. (2016). Carryover effect of postpartum inflammatory diseases on developmental biology and fertility in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 99:2201–2220.

93. Roche JR, Friggens NC, Kay JK, Fisher MW, Stafford KJ, Berry DP. (2009). Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *J Dairy Sci* 92:5769–5801.
94. Roche JR, Kay JK, Phyn CVC, Meier S, Lee JM, Burke CR. (2010). Dietary structural to nonfiber carbohydrate concentration during the transition period in grazing dairy cows. *J Dairy Sci* 93:3671–3683.
95. Roche JR, Berry DP, Bryant AM, Burke CR, Butler ST, Dillon PG, Donaghy DJ, Horan B, Macdonald KA, Macmillan KL. (2017). A 100-year review: A century of change in temperate grazing dairy systems. *J Dairy Sci* 100:10189–10233.
96. Ruegg PL. (2017). A 100-year review: Mastitis detection, management, and prevention. *J Dairy Sci* 100:10381–10397.
97. Rupprechter G, Adrien M, Larriestra A, Meotti O, Batista C, Meikle A, Noro M. (2018). Predictors of peri-partum diseases and their association with parity in dairy cows. *Res Vet Sci* 118:191–198.
98. Rupprechter G, Noro M, Meotti O, Batista C, Adrien ML, Barca J, Meikle A. (2020). Endocrine and reproductive parameters in sick and healthy primiparous and multiparous dairy cows. *Theriogenology* 141:173–179.
99. Sammad A, et al. (2022). Major nutritional metabolic alterations influencing the postpartum reproductive performance of dairy cows. *Front Vet Sci* 9:878165.
100. Santman-Berends IMGA, Lam TJGM, Keurentjes J, van Schaik G. (2015). An estimation of the clinical mastitis incidence per 100 cows per year based on routinely collected herd data. *J Dairy Sci* 98:6965–6970.
101. Sejersen H, Sørensen MT, Larsen T, Bendixen E, Ingvarsen KL. (2012). Liver protein expression in dairy cows with high liver triglycerides in early lactation. *J Dairy Sci* 95:2409–2421.
102. Sepúlveda P, Weary D, Noro M, von Keyserlingk M. (2015). Transition diseases in grazing dairy cows are related to serum cholesterol and other analytes. *PLoS One* 10:e0122317.
103. Shalloo L, Cromie A, McHugh N. (2014). Effect of fertility on the economics of pasture-based dairy systems. *Animal* 8(Suppl. 1):222–231.
104. Sheldon I, Lewis G, LeBlanc S, Gilbert R. (2006). Defining postpartum uterine disease in cattle. *Theriogenology* 65:1516–1530.
105. Sheldon I, Williams E, Miller A, Nash D, Herath S. (2008). Uterine diseases in cattle after parturition. *Vet J* 176:115–121.
106. Sheldon I, Cronin J, Goetze L, Donofrio G, Schuberth H. (2009). Defining postpartum uterine disease and the mechanisms of infection and immunity in the female reproductive tract in cattle. *Biol Reprod* 81:1025–1032.
107. Sheldon I, Molinari P, Ormsby T, Bromfield J. (2020). Preventing postpartum uterine disease in dairy cattle depends on avoiding, tolerating and resisting pathogenic bacteria. *Theriogenology*.
108. Smith RF, Oultram J, Dobson H. (2014). Herd monitoring to optimise fertility in the dairy cow: Making the most of herd records, metabolic profiling and ultrasonography (research into practice). *Animal* 8:185–198.
109. Spaans OK, Macdonald KA, Neal M, Auldist MJ, Lancaster JAS, Bryant AM, et al. (2019). A quantitative case study assessment of biophysical and economic effects from altering season of calving in temperate pasture-based dairy systems. *J Dairy Sci* 102:11523–11535.
110. Spaans OK, Kuhn-Sherlock B, Hickey A, Crookenden MA, Heiser A, Burke CR, et al. (2022). Temporal profiles describing markers of inflammation and

- metabolism during the transition period of pasture-based, seasonal-calving dairy cows. *J Dairy Sci* 105:2669–2698.
111. Stirling S, Fariña S, Pacheco D, Vibart R. (2021). Agricultural systems. *Agric Syst* 193:103227.
 112. Sundrum A. (2015). Metabolic disorders in the transition period indicate that the dairy cows' ability to adapt is overstressed. *Animals* 5:978–1020.
 113. Teagasc. (2021). Teagasc/Aurivo Joint Industry Programme. Teagasc, Ireland.
 114. Timlin M, Tobin JT, Brodkorb A, Murphy EG, Dillon P, Hennessy D, et al. (2021). The impact of seasonality in pasture-based production systems on milk composition and functionality. *Foods* 10:607.
 115. Toni F, Vincenti L, Ricci A, Schukken YH. (2015). Postpartum uterine diseases and their impacts on conception and days open in dairy herds in Italy. *Theriogenology* 84:1206–1214.
 116. Van Saun RJ. (2004). Metabolic profiling and health risk in transition cows. 37th Annual American Association of Bovine Practitioners Convention, Fort Worth, TX, pp. 212–213.
 117. Washburn SP, White SL, Green JTJ, Benson GA. (2002). Reproduction, mastitis, and body condition of seasonally calved Holstein and Jersey cows in confinement or pasture systems. *J Dairy Sci* 85:105–111.
 118. Walsh RB, Kelton DF, Duffield T, Leslie KE, Walton JS, LeBlanc SJ. (2007). Prevalence and risk factors for postpartum anovulatory condition in dairy cows. *J Dairy Sci* 90:315–324.
 119. White SL, Benson GA, Washburn SP, Green JTJ. (2002). Milk production and economic measures in confinement or pasture systems using seasonally calved Holstein and Jersey cows. *J Dairy Sci* 85:62–104.
 120. Wittwer F. (1996). Diagnóstico de desbalances de energía y proteínas mediante el análisis de muestras de leche y su impacto productivo en rebaños lecheros. En: Lanuza F, Bortolameolli G (Eds.), *Aspectos técnicos y perspectivas de la producción de leche*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) Remehue, Chile, Serie Remehue N° 64, pp. 71–84.