



## **Adaptación o no adaptación: el dilema de las vacas lecheras en transición**

Autores: Roskopf PM<sup>1</sup>, Ángeli E<sup>2</sup>, Hein, GJ<sup>2</sup>; Salado, EE<sup>1</sup>

Lugar de trabajo: <sup>1</sup> EEA INTA Rafaela. <sup>2</sup> ICIVET Litoral

El período de transición (PT) de las vacas lecheras abarca el lapso de tiempo que se extiende desde las 3 a 4 semanas previas al parto hasta las 3 a 4 semanas postparto y se caracteriza por una alta incidencia de patologías que resultan de una mala adaptación de las vacas al cambio de estatus fisiológico de gestación tardía a inicio de lactancia.

Probablemente, el artículo científico más influyente en esta temática fue una revisión publicada por el Dr. James Drackley en el año 1999, donde plantea la biología de la vaca lechera en transición como la “frontera final” por la complejidad y la falta de conocimientos en esta área. Luego de más de 20 años de estudio, se ha generado un importante cuerpo de conocimientos sobre la biología que subyace al PT; sin embargo, continúa siendo crítico para los sistemas de producción de leche.

Comprender el desafío metabólico que implican las adaptaciones homeorréticas y homeostáticas del PT, es el punto de partida para entender la susceptibilidad a las diferentes patologías de las vacas lecheras. Quizás el término que mejor ilustra esta noción es la que define a las vacas lecheras de alta producción como “atletas metabólicas” acuñado por LeBlanc (2010) cuando define la fisiología del PT.

Considerando la importancia del PT para la producción lechera, este artículo tiene como objetivo describir las adaptaciones que ocurren durante el periparto y proponer estrategias para mejorar tanto el desempeño como el bienestar de las vacas en esta etapa. A la fecha, es indispensable implementar acciones a fin de prevenir las enfermedades y responder a las crecientes demandas sociales en cuanto al bienestar animal y la sustentabilidad de los sistemas productivos.

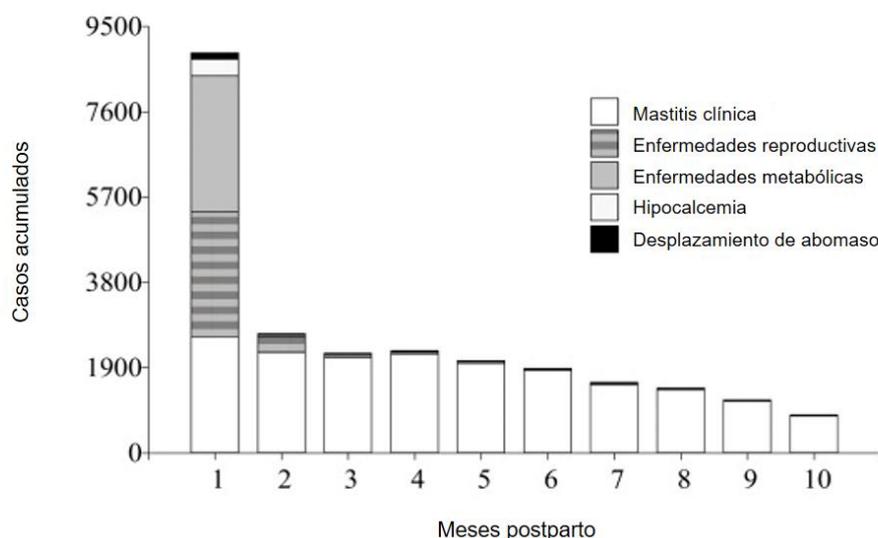
### **Las sprint que no siempre pueden iniciar carrera...**

Una combinación de eventos metabólicos previos al parto prepara a los animales para desencadenarlo e iniciar la lactancia. Esencialmente, todas las vacas experimentan una reducción en la capacidad de consumo de alimentos lo que se traduce en balance energético negativo (BEN), lipomovilización y pérdidas de masa corporal; disminución de la calcemia y contaminación del útero en el postparto inmediato. Estos factores, junto con los dramáticos cambios en la concentración de algunas hormonas y prácticas de manejo deficientes que favorecen la inmunosupresión, precipitan la presentación de enfermedades comúnmente conocidas como “enfermedades del período de transición” (Salado *et al.*, 2020).

Por su parte, el nivel de producción de las vacas lecheras se ha incrementado notablemente con el paso de los años. En la raza Holstein, la producción de leche ha mejorado en un 115% en los últimos 60 años, pasando de 5100 litros en 1960 a 11000 litros en 2020 en 305 días de lactancia, según un informe del Centro de Información Lácteo Canadiense (s.f.). Aproximadamente el 50% de ese aumento en la producción de leche puede atribuirse a la selección genética mientras que el 50% restante debe ser atribuido a factores ambientales (manejo, nutrición, bienestar, infraestructura) (Pryce *et al.*, 2004).

Este cambio en la producción ha generado que las vacas deban adaptar su metabolismo a mayores necesidades de nutrientes, particularmente en las primeras semanas postparto, donde los requerimientos para producción de leche son de 3 a 5 veces mayores a los de mantenimiento, magnitud que equivaldría al esfuerzo de un deportista que corre 3 maratones por día (Martens H., 2023). Así, muchos animales con gran potencial productivo no pueden nivelar sus requerimientos y permanecen un tiempo considerable en BEN movilizand sus reservas y generando una sobrecarga metabólica que precipita la aparición de enfermedades.

En este sentido, en un relevamiento de la incidencia de enfermedades (Figura 1) realizado en 21 tambos de las principales cuencas lecheras del país, Masía *et al.* (2022) informaron que el 72% de las lactancias evaluadas (de un total de 15423 lactancias) presentaron al menos un caso clínico de enfermedad. La mayor incidencia de patologías se presentó durante el primer mes de lactancia; con un 27,3% de los casos correspondientes a mastitis clínica, un 31,9% a enfermedades reproductivas (anestros, quistes, metritis, endometritis y retención de membranas fetales) y un 34,9% a enfermedades de origen metabólico-nutricional (cetosis, problemas digestivos y diarrea).



**Figura 1:** Casos clínicos de enfermedad acumulados según el mes de lactancia. Fuente: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104894>

Estos resultados coinciden con otros estudios realizados en el país (Corbellini *et al.*, 2009) y en el extranjero (Compton *et al.*, 2015; Daros *et al.*, 2022). En un exhaustivo trabajo de seguimiento de 37 tambos de las provincias de Santa Fe y Buenos Aires donde se relevaron 22772 lactancias, Corbellini *et al.* (2009) informaron que el 68% de los animales padeció alguna enfermedad en el primer mes de lactancia y que sólo el 22,8% de los animales lograba superar la 3ª lactancia.

Asimismo, la incidencia de enfermedades durante el PT observada en tambos pastoriles de Nueva Zelanda (Compton *et al.*, 2015) o en tambos estabulados de Estados Unidos (Daros *et al.*, 2022) resulta similar a la informada en Argentina, por lo que la transición de la vaca lechera continúa siendo una problemática importante y transversal a los sistemas productivos de todo el mundo (Martens, H. 2023).

La correcta adaptación al PT incluye una sucesión armónica de eventos que resultan en una lactancia exitosa (volumen de leche y persistencia adecuada), ovulaciones fértiles luego del período de espera voluntario y un sistema inmune competente capaz de limitar la presentación de enfermedades. Una mala adaptación, por el contrario, conlleva un desorden homeostático que precipita la presentación de una o más enfermedades clínicas o subclínicas que se interrelacionan entre sí (Curtis *et al.*, 1985) y derivan en pérdidas productivas y reproductivas con *carryover* (efectos de arrastre) por más de 4 meses (Ribeiro *et al.*, 2016).

### **Adaptación de los requerimientos:**

La transición del estado de preñez avanzado y no lactante hacia la no preñez e inicio de lactancia, atravesando el parto, suele ser un proceso dramático para la vaca lechera que debe adaptar su metabolismo a las fuertes exigencias que demanda la producción de leche y el cambio de régimen alimenticio acorde a los requerimientos del inicio de lactancia (Goof *et al.*, 1997).

En líneas generales, las demandas de energía aumentan aproximadamente 300% y las necesidades de calcio alrededor de 65% para apoyar la lactogénesis (Caixeta *et al.*, 2021). Al mismo tiempo, el consumo de materia seca (CMS) disminuye a medida que se acerca el parto. Durante el período seco (60 a 21 días previos al parto), el CMS se sitúa entre 1,7 y 2% del peso vivo, pero puede reducirse a niveles de 1,4% una semana antes del parto. Durante el postparto, el CMS puede aumentar a razón de 1,5 a 2,5 kg por semana, llegando a su máxima capacidad alrededor de la semana 12, es decir con posterioridad al momento de máximos requerimientos (pico de lactancia). Esta diferencia entre los nutrientes que ingresan con la ingesta y los que egresan con la producción de leche genera un balance negativo (Figura 2), que obliga a las vacas lecheras a movilizar sus reservas corporales para apoyar la lactogénesis. Esta disminución del 30% de la capacidad de consumo durante el período de transición, puede ser atribuida al rápido crecimiento fetal que limita el volumen ruminal,

aunque es fundamental la incidencia hormonal y algunos factores fisiológicos y comportamentales propios de este período.



**Figura 2:** Representación del balance energético negativo en inicio de lactancia. Fuente: [dairynz.co.nz/technote11/understand the transition cow](http://dairynz.co.nz/technote11/understand-the-transition-cow)

En nuestro país, el 83% de los establecimientos utiliza pasturas para la alimentación de las vacas en producción durante todo el año, representando en promedio, el 44% de la materia seca consumida (Encuesta Sectorial Lechera, 2023). Esta situación, hace que las vacas en inicio de lactancia, con limitaciones en su capacidad de consumo no logren satisfacer sus requerimientos, ya que en general, las pasturas suelen ser un recurso desbalanceado, con deficiencias de materia seca, excesos de proteína degradable en rumen y muchas veces en fibra (Kolver y Muller., 1998). Incluso, cuando las vacas en pastoreo reciben energía extra por la suplementación con concentrados, la pérdida de condición corporal (CC) puede ser importante debido a que la energía extra es utilizada para producir mayor volumen de leche sin aliviar el BEN (Bargo *et al.*, 2003). En este sentido, las dietas mezcladas parcialmente (PMR) o totalmente mezcladas (TMR) ofrecen una mayor posibilidad de cubrir los requerimientos de lactancia en vacas con altos potenciales productivos, comparado a los sistemas de alimentación basados en pasturas solamente (Salado, E.E., 2020).

A modo de ejemplo, en el Cuadro 1 planteamos simulaciones de dietas (NASEM, 2021) para una vaca adulta de la raza Holstein de 650 kg, en inicio de lactancia (20 días postparto), que produce 42 kg de leche diarios (3,6% grasa butirosa y 2,8% proteína bruta), según tres estrategias de alimentación: pastoreo más suplementación de concentrado (P+C), ración parcial mezclada (pastoreo más suplementación de silaje y concentrado; PMR) y ración total mezclada (TMR). Como el CMS puede ser extremadamente variable en inicio de lactancia, establecimos un consumo fijo para todas las dietas (21,75 kg de materia seca) estimado en base a las

características del animal, despejando la interacción animal/estrategia de alimentación (dieta).

**Cuadro 1:** Simulación de dietas (NASEM, 2021)\*.

Composición de la dieta (kg MS)	P+C	PMR	TMR
Pastura de alfalfa	14,67	7,69	-
Balanceado comercial	7,08	5,36	5,58
Silaje de maíz	-	8,70	5,53
Silaje de alfalfa	-	-	6,23
Harina de soja	-	-	1,49
Maíz molido	-	-	2,21
Heno de alfalfa	-	-	0,71
<b>TOTAL (kg MS)</b>	<b>21,75</b>	<b>21,75</b>	<b>21,75</b>
Densidad energética (Mcal ENL/kg MS)	1,61	1,67	1,77

ENL= energía neta de lactancia.

\*Los alimentos y concentración de nutrientes que se utilizaron, corresponden a “Tabla de alimentos rumiantes INTA”. Las dietas fueron formuladas incorporando 68% y 40% de pastura en la en la dieta P+C y PMR respectivamente, para representar los valores máximos y medios de incorporación de pasturas en dietas de los tambos relevados en nuestro país (Encuesta Sectorial Lechera). Para todos los casos, se consideró: superar 1,6 Mcal ENL/kg MS, suplir la demanda de proteína metabolizable respecto a ENL y valores de FDN entre 27 y 33%.

**Cuadro 2:** Requerimientos y balance de energía según tipo de dieta (NASEM, 2021).

Requerimientos de energía (ENL/día)	P+C	PMR	TMR
Mantenimiento	13,22	13,22	13,22
Producción de leche	28,64	28,64	28,64
Actividad de pastoreo**	1,73	1,37	-
<b>TOTAL REQUERIDO</b>	<b>43,59</b>	<b>43,23</b>	<b>41,86</b>
<b>TOTAL CONSUMIDO</b>	<b>35,13</b>	<b>36,36</b>	<b>38,48</b>
<b>BALANCE</b>	<b>- 8,47</b>	<b>- 6,87</b>	<b>- 3,38</b>
Producción (kg de leche/día) según disponibilidad de ENL	29,58	31,93	37,05

\*\*La actividad de pastoreo incluye el requerimiento de la caminata de 2 kilómetros, dos veces por día y 1 kilómetro una vez por día para P+C y PMR, respectivamente.

En estas condiciones, una vaca multípara con 20 días de lactancia que pesa 650 kg y consume 21,75 kg de MS de las dietas presentadas en Cuadro 1, no logrará cubrir las necesidades de energía para producir 42 kg de leche diarios, bajo ninguna estrategia de alimentación. El BEN que se generará, será variable según la dieta utilizada (Cuadro 2). Este déficit de energía será cubierto con movilización de reservas corporales; la magnitud de movilización equivaldría a la pérdida de 0,60, 1,23 y 1,51 kg de peso vivo por día para TMR, PMR y P+C respectivamente (1 kg de movilización incluye: 64% de grasa, 8% de proteína, 28% de agua y aporta 5,6 Mcal ENL) (Martens H., 2023; NASEM, 2021).



La recomendación general es que las vacas no superen la pérdida de 1 punto de CC entre el parto y los primeros 60 días en leche (1 punto de CC = 9,4% del peso vivo). En este caso sólo la dieta TMR cumple esa premisa; por lo que alimentar a las vacas en inicio de lactancia con este tipo de dietas, es una buena estrategia a fin de disminuir la movilización y sobrecarga metabólica.

Si bien la movilización de reservas corporales para cubrir la demanda de nutrientes comienza hacia finales de la gestación, recobra mayor importancia en las primeras semanas de lactancia. Su magnitud e intensidad depende de varios factores como la condición corporal, el nivel de producción, la calidad de la dieta, factores estresantes, patologías concomitantes y, en los últimos años se ha investigado cómo influyen las condiciones de manejo durante el final de la lactancia y el período seco (Dancy *et al.*, 2019; Menichetti *et al.*, 2021).

Idealmente, la CC de las vacas al secado debería ser 3,25 – 3,50 y mantenerse hasta el parto. Janovick y Drackley (2010), indicaron que sobrealimentar vacas durante el período seco y el preparto, conduce a mayor desbalance energético y mayor incidencia de trastornos metabólicos en el inicio de la lactancia. Estos resultados, remarcan la importancia de controlar la ingesta de energía durante el período seco (1,28 Mcal NEL) y el preparto (1,49 Mcal NEL), a fines de prevenir la disfunción metabólica postparto (NASEM, 2021).

Por otro lado, los requerimientos de calcio cambian abruptamente durante el PT. La calcemia (concentración de calcio sanguíneo) se mantiene bajo un estricto control hormonal en un rango de 8,5 a 10 mg/dl. Cuando los niveles de este mineral son inferiores a 5,5 mg/dl, las vacas suelen mostrar sintomatología de hipocalcemia clínica. Una vez alcanzados niveles inferiores a 3,5 mg/dl, la mayoría de las vacas entran en coma hipocalcémico con alto riesgo de muerte.

Antes del parto, el requerimiento diario de calcio es de aproximadamente 30 g/día (mantenimiento + crecimiento fetal); mientras que luego del parto, los requerimientos de la glándula mamaria para la síntesis de leche pueden exceder los 50 g/día (Lean *et al.*, 2010). Este abrupto cambio en la demanda de calcio deja a la mayoría de las vacas de alta producción en algún grado de hipocalcemia en el postparto inmediato.

La estrategia nutricional más ampliamente difundida para mejorar la homeostasis del calcio alrededor del parto y prevenir la hipocalcemia es el uso de sales aniónicas en las dietas preparto. Éstas generan una diferencia catiónica-aniónica en la dieta (DCAD) negativa, provocando una leve acidosis metabólica que da como resultado un aumento de la circulación de calcio para equilibrar la concentración excesiva de aniones en la circulación (Santos *et al.*, 2019). El calcio movilizado es excretado por los riñones hasta el momento del parto y posteriormente, durante la lactancia, se utiliza para satisfacer las elevadas demandas de calcio de la vaca.



Una extensa lista de estudios ha reportado, una reducción significativa en la incidencia de hipocalcemia clínica y aumentos en la producción de leche en vacas multíparas que fueron alimentadas con dietas DCAD antes del parto. En un metaanálisis, Santos *et al.*, (2019) se determinó que la incidencia de hipocalcemia clínica se redujo por debajo del 3% y la producción de leche aumentó 1,1 kg/día, con el suministro de dietas aniónicas durante el preparto.

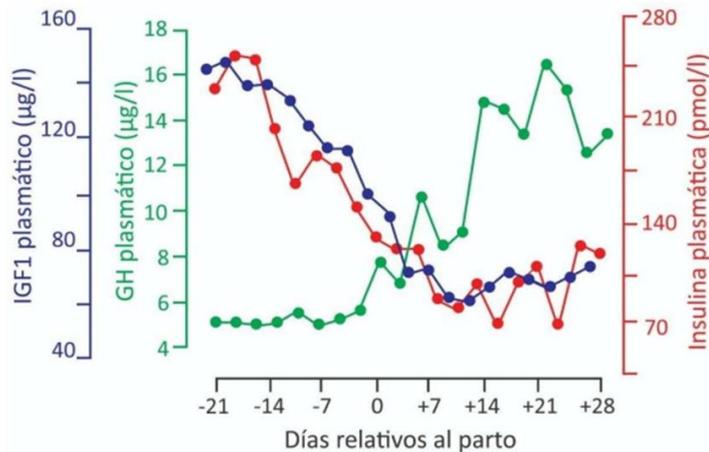
Es importante remarcar la necesidad de monitorear el nivel de acidosis metabólica al emplear sales aniónicas. Dietas con DCAD muy negativa (por encima de -150 mEq/kg MS), reducen la palatabilidad y el CMS. El grado de acidificación se puede determinar midiendo el pH de la orina, siendo óptimo con valores dentro del rango de 5,5 y 6,2 (Santos *et al.*, 2019). Por otro lado, se debe considerar que prolongar la exposición a dietas aniónicas durante más de 40 días, aumenta el riesgo de padecer hipocalcemia al parto afectando el rendimiento de la lactancia en hasta 2,5 kg de leche/día (Lean *et al.*, 2010). En tal sentido, es crucial contar con registros precisos de fechas probables de parto cuando se usan sales aniónicas.

### **Adaptación endócrina:**

El inicio de la lactancia requiere una serie de reajustes hormonales y cambios en la respuesta de los tejidos que redireccionarán el aporte de nutrientes hacia la glándula mamaria para la síntesis de leche.

La insulina regula la captación de glucosa por parte de los tejidos. La hipoinsulinemia que caracteriza al inicio de la lactancia, reduce la posibilidad de utilización de glucosa por los tejidos extramamarios (muscular, adiposo, etc.). La tasa de extracción de glucosa por parte de la glándula mamaria, en cambio, no varía en función de la concentración de insulina, debido a que cuenta con transportadores específicos que son capaces de internalizar hasta el 97% del pool circulante en función del nivel productivo del animal (Drackley, 1999).

Después del parto, la hormona del crecimiento (GH) aumenta rápidamente, mientras que sus receptores en el tejido hepático disminuyen, este proceso es conocido como “desacople somatotrófico” (Figura 3). La insensibilización hepática a la acción de la GH determinada por el desacople somatotrófico imposibilita la retroalimentación negativa de su mediador, el factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-1), promoviendo un ciclo catabólico que soporta la lactancia (Meikle *et al.*, 2013; Qiao, K., 2024).



**Figura 3:** Desacople somatotrófico. Relación entre las concentraciones de IGF-1, GH e Insulina.

Fuente: <https://hdl.handle.net/11185/5626>

Estas adaptaciones endócrinas resultan en una estrategia que prioriza la síntesis de leche en la glándula mamaria por encima del resto de los tejidos y debe entenderse desde el contexto evolutivo de la especie que asegura la provisión de leche y el cuidado del ternero recién nacido de manera independiente del consumo de alimentos (Martens, H., 2023). En este sentido, algunos autores describen a la vaca lechera en inicio de lactancia como un apéndice de la ubre y no viceversa (Brown 1969).

### Adaptación metabólica:

En el organismo animal todos los tejidos requieren un mínimo de glucosa, razón por la cual, la glucemia es regulada por un complejo control endocrino que permite mantener su concentración en valores que oscilan entre 2,5 y 4,6 mmol/L (Grande *et al.*, 2008). Aunque en ruminantes adultos la provisión de glucosa no es un problema, en inicio de lactancia es frecuente encontrar vacas hipoglucémicas debido a la gran capacidad de la glándula mamaria para captarla.

Los reajustes hormonales, la baja capacidad de consumo y la gran demanda de nutrientes para la síntesis de leche, desencadenan la movilización de los lípidos (lipólisis) almacenados en el tejido adiposo, los cuales son hidrolizados por lipasas a glicerol y ácidos grasos no esterificados (NEFA, por sus siglas en inglés) y posteriormente utilizados como fuente de energía por los tejidos periféricos, ahorrando así glucosa para la producción de leche (Herdt, T., 2000).

El hígado juega un rol fundamental en la adaptación metabólica al inicio de la lactancia, censando el estado nutricional de los animales y redirigiendo compuestos a diferentes tejidos a través de diversas vías metabólicas.

Los ácidos grasos movilizados pueden seguir cuatro destinos posibles cuando ingresan al tejido hepático:

1. Oxidación completa en el ciclo tricarboxílico con producción de ATP (energía), H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>.
2. Oxidación parcial a través de la cetogénesis, generando cuerpos cetónicos (acetona, ácido acetoacético y ácido betahidroxibutírico).
3. Reesterificación, que consiste en un proceso de empaquetamiento en lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL, por sus siglas en inglés) y posterior transporte para que otros órganos puedan utilizarlos como fuente de energía.
4. Almacenamiento (acumulación).

Estos procesos ocurren simultáneamente en el tejido hepático. Si se producen cantidades suficientes de energía, se restablece la glucemia (e insulinemia), generándose un circuito de retroalimentación negativa que limita la lipólisis.

Normalmente, las vacas en inicio de lactancia pueden movilizar hasta el 30% de la grasa almacenada en el tejido adiposo (Zachut *et al.*, 2022). Frente a algunas situaciones (enfermedades, bajos CMS, dietas mal formuladas), la magnitud e intensidad de la movilización puede exceder la capacidad oxidativa del tejido hepático. La saturación del complejo enzimático-oxidativo conduce a un incremento en la producción de cuerpos cetónicos (oxidación parcial) y a una acumulación de triglicéridos en los hepatocitos, desencadenando el inicio de los síndromes de cetosis e hígado graso, respectivamente. La acumulación de ácidos grasos se debe a que el hígado bovino tiene una capacidad limitada para sintetizar y secretar VLDL, por lo tanto, se compromete su exportación hacia otros tejidos.

Las concentraciones de NEFA y de  $\beta$ HB en sangre son indicadores principales del BEN en vacas lecheras en transición y son factores de riesgo importantes para la presentación de enfermedades metabólicas e infecciosas y mal desempeño reproductivo (Pascottini *et al.*, 2022).

Es necesario aclarar que la movilización de reservas corporales es una estrategia de adaptación al BEN, por ende, ciertas concentraciones circulantes de NEFA (<0,7 mmol/L) y cuerpos cetónicos (<1,2 mmol/L de  $\beta$ HB) resultan normales en el monitoreo de vacas en inicio de la lactancia. Asimismo, un incremento de la infiltración de triglicéridos en el tejido hepático es común en vacas lecheras en inicio de lactancia. En este sentido, un estudio realizado por Arshad *et al.* (2022), revelaron que el 75% de las vacas Holstein de alta producción contenía infiltraciones de triglicéridos en el tejido hepático moderadas a graves (> 5 y  $\leq$  7,5% respectivamente, en base húmeda) durante la primera semana de lactancia. De este modo, a pesar de que la producción de leche aumentó de manera cuadrática con la acumulación de triglicéridos, concentraciones mayores al 4% en el parénquima hepático se asociaron con menores CMS, mayores concentraciones de NEFA y  $\beta$ HB, mayor riesgo de hipercetonemia, detrimentos en la salud, metritis y mayor riesgo de descarte.



## Adaptación inmune:

La inflamación es una reacción del sistema inmune que subyace a procesos fisiológicos y patológicos. Durante el PT, las vacas están expuestas a una gran variedad de factores que alteran la homeostasis y afectan la integridad de las barreras primarias de defensa (Bradford *et al.*, 2015; Qiao, K., 2024).

Independientemente del estado de salud, todas las vacas experimentan inflamación sistémica alrededor del parto (Horst *et al.*, 2021), indicando la necesidad de un cierto grado de inflamación para sostener las adaptaciones fisiológicas del PT.

Una función clave de la inflamación es facilitar el parto. El parto se caracteriza por una afluencia masiva de macrófagos y neutrófilos al miometrio; este ambiente proinflamatorio promueve la dilatación del cuello uterino, la contracción del útero y la expulsión de la placenta. Durante el mismo, la barrera epitelial que conforma el canal del parto y el útero sufre daños físicos, creando una oportunidad para que las bacterias puedan acceder al estroma del tejido generando metritis o endometritis en hasta el 40% de las vacas postparto (Sheldon *et al.*, 2020).

En el mismo sentido, la glándula mamaria es un órgano muy susceptible a la colonización de bacterias, particularmente al final de la lactancia (secado) y durante el período de transición (calostrogénesis y lactogénesis). La mastitis es la enfermedad infecciosa más prevalente de los rodeos lecheros a nivel mundial (Hogeveen *et al.*, 2019) y también en nuestro país (Corbellini *et al.*, 2009), con el 60% de los casos clínicos ocurriendo durante las primeras semanas postparto (Masia *et al.*, 2022) como resultado de una contaminación adquirida durante el período seco. Algunos estudios indican que hasta un 65% de los casos clínicos de mastitis ocurridos durante la lactancia temprana se originan en el período seco (Horst *et al.*, 2021). Por tanto, la glándula mamaria es un órgano que contribuye al proceso de inflamación local y sistémico durante el PT.

El tracto gastrointestinal (TGI), por su parte, se encuentra tapizado por células epiteliales que cumplen la función de absorción y barrera al mismo tiempo. Varios factores pueden dañar la integridad de esta barrera protectora (estrés calórico, BEN, toxinas, cambios de dieta, variación del pH ruminal e intestinal, etc.) permitiendo la traslocación de patógenos hacia la circulación, por lo que su relación con el sistema inmune es indispensable (Bradford *et al.*, 2015). Alrededor del 75% de los linfocitos se encuentran asociados a los órganos digestivos de un animal sano, graficando la gran amenaza que resulta el contenido del tracto digestivo para la salud animal (Kuhla, 2020). Los agentes que logren burlar las defensas del TGI, llegarán por el sistema porta al hígado, por lo que existe vinculación directa entre la inflamación intestinal y el tejido hepático.

A pesar de sus interminables funciones metabólicas el hígado también participa activamente en la respuesta inmune. Durante la inflamación, el hígado sintetiza un conjunto de proteínas conocidas como Proteínas de Fase Aguda que participan en la



inactivación de compuestos bacterianos y su eliminación a través de la bilis, moderan la respuesta inflamatoria e intentan prevenir los daños del estrés oxidativo (Mezzetti *et al.*, 2021).

Los radicales libres que generan estrés oxidativo se producen normalmente como producto final del metabolismo celular. Durante el PT, el aumento considerable de las necesidades de nutrientes da como resultado una mayor producción de radicales libres, agotando las defensas antioxidantes necesarias para reducir su acumulación y exponiendo a las vacas a un severo estrés oxidativo (Sordillo *et al.*, 2009; Barcarolo *et al.*, 2024).

Como se mencionara previamente, el tejido adiposo (TA) es un importante órgano endócrino que atenúa el BEN durante el PT. La lipólisis implica la liberación de compuestos tóxicos que inducen respuesta inflamatoria en el TA, con gran afluencia de macrófagos que intentan limitar la lipotoxicidad y remodelar el tejido (Zachut *et al.*, 2022). En vacas que presentan alguna enfermedad postparto (desplazamiento de abomaso, cetosis), donde la lipólisis es grave, la infiltración de macrófagos al tejido puede alcanzar hasta el 2% del número total de células. Esta situación conduce al desarrollo de inflamación crónica, generando mayor lipólisis con importantes consecuencias en la salud de los animales (Pascottini *et al.*, 2022).

Finalmente, durante el PT las vacas están expuestas a una gran variedad de factores que determinan la activación del sistema inmune. El daño celular, la invasión microbiana y la remodelación de los tejidos generan una considerable liberación de mediadores inflamatorios (citocinas, quimiocinas, eicosanoides, entre otros). Estas moléculas desencadenan diversas respuestas que promueven un mayor flujo sanguíneo al tejido afectado, infiltración y activación de células inmunes y respuestas sistémicas que incluyen aumento de la temperatura corporal, aumento de la frecuencia cardíaca y disminución del apetito (Bradford *et al.*, 2015). La disminución del CMS durante la activación inmune resulta una respuesta paradójica considerando que, según el tipo de lesión, la tasa metabólica puede aumentar entre 15 y 57% (Brown *et al.*, 2021), demandando más de 1 kilogramo de glucosa en las primeras 12 horas (Kvidera *et al.*, 2017).

Se ha intentado limitar el proceso inflamatorio a través de la utilización de antiinflamatorios no esteroideos. En general, la información publicada indica una disminución de los marcadores inflamatorios, aunque los resultados sobre el CMS, la producción de leche y la respuesta del sistema inmune varían en función de la droga utilizada, dosis, momento y duración del tratamiento (Brown *et al.*, 2021). De esta forma, el proceso inflamatorio resulta necesario para apoyar las adaptaciones del PT, aunque la inflamación sistémica prolongada probablemente sea perjudicial para la salud y el desempeño productivo y reproductivo de la vaca lechera (Bradford *et al.*, 2015).

Por este motivo, en los últimos años se comenzaron a evaluar diferentes estrategias que integren el manejo, la nutrición y el adecuado suministro de compuestos como vitaminas y minerales, antioxidantes y lípidos poliinsaturados (ácidos grasos omega-3 y ácido linoleico conjugado) que moderen la inflamación, evitando el daño tisular y los trastornos relacionados con el síndrome digestivo y metabólico (Sordillo, 2016; Lopreato *et al.*, 2020; Ángeli *et al.*, 2021; Barcarolo *et al.*, 2024). Aunque los resultados de estos estudios y revisiones son promisorios, el proceso de inflamación sistémico que experimentan las vacas en PT es complejo, con complejas interacciones (especialmente con el metabolismo) y revelan constantemente lo poco que sabemos y lo demasiado simplificada que puede haber sido nuestra interpretación.

### **Adaptación ruminal:**

El principal desafío de las estrategias de alimentación de las vacas lecheras de alta producción consiste en satisfacer los elevados requerimientos nutricionales y al mismo tiempo, mantener un ecosistema ruminal saludable. Con el objetivo de minimizar el BEN que se produce durante las primeras semanas de lactancia, las vacas lecheras son suplementadas con raciones ricas en carbohidratos rápidamente fermentables (CRF) como azúcares y almidón. Estas raciones, en exceso, desbalanceadas en fibra y/o suministradas sin un adecuado acostumbamiento, pueden inducir acidosis ruminal (AR) (Bretschneider, 2009).

La AR es un proceso derivado de la acumulación excesiva de ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen y presenta como signo patognomónico un bajo pH ruminal. La severidad de la misma está determinada por la magnitud de la caída del pH, existiendo dos tipos de acidosis, aguda ( $\text{pH} < 5,0$ ) y subaguda (ARSA) o subclínica ( $5,0 \leq \text{pH} < 5,5$ ) (Enemark, 2008).

Las manifestaciones clínicas de la presentación subaguda pueden ser muy leves y prácticamente no detectables. Sin embargo, las investigaciones de los últimos 10 años han establecido que el ganado lechero que padece ARSA tiene mayores riesgos de desarrollar trastornos metabólicos como desplazamiento de abomaso, hígado graso, laminitis, abscesos hepáticos y síndrome de la vaca caída (Hossain E., 2020).

Algunos reportes indican que hasta el 19% de las vacas en inicio de lactancia y el 26% en lactancia media tienen AR, con pérdidas estimadas de U\$s1,12 por día (Enemark, 2008) que resultan de la disminución del volumen y calidad de leche producida, patologías asociadas y/o descarte prematuro, considerándose el trastorno ruminal de origen alimentario más importante en el ganado lechero. En este contexto, la alimentación de vacas de alta producción debe centrarse en la adaptación del epitelio ruminal y el microbioma a las grandes cantidades de CRF consumidos diariamente, de modo que se pueda mantener el equilibrio entre la producción y la absorción de AGV (Kleen *et al.*, 2003). Esta adaptación es particularmente importante

durante la transición de la dieta preparto a la de lactancia temprana, La caída de la capacidad de consumo antes del parto y la fuerte transición de dietas compuestas casi exclusivamente por forraje a dietas altamente fermentables (hasta 60% de concentrado), junto con un estrés considerable en el período de periparto, ponen a las vacas en lactancia temprana en alto riesgo de desarrollar ARSA (Roche *et al.*, 2013).

La bibliografía indica que el epitelio ruminal tarda de 4 a 6 semanas en adaptarse a dietas ricas en concentrados, aumentando el área de absorción, así como su capacidad funcional para hacer frente al aumento repentino de los niveles de AGV, mientras que las adaptaciones microbiológicas tardan 3 semanas (Dieho *et al.*, 2016, 2017). Así, un período de adaptación de al menos 4 a 5 semanas de alimentación con concentrados energéticos parece ser de suma importancia en términos de adaptación ruminal y prevención de ARSA (Humer *et al.*, 2018).

Durante el período de vaca seca, la capacidad de absorción del rumen puede disminuir hasta un 50 % debido a la menor longitud y densidad de las papilas ruminales. La suplementación con granos estimula el crecimiento de las papilas y así se aumenta la superficie de absorción de AGV, lo cual reduce el riesgo de ARSA, De esta forma, el acostumbramiento temprano a los concentrados energéticos prepara el rumen para el desafío nutricional del postparto (Bretschneider, 2009). Por lo tanto, la dieta de las vacas secas debería ajustarse durante el período preparto de tal manera que la misma contenga todos los ingredientes, principalmente la fuente de CRF, de la dieta planeada para el postparto.

Asimismo, durante la primera semana postparto, se recomienda que el suministro de concentrado energético a las vacas no supere los 5 kg MS/día y luego, incrementar gradualmente el nivel de suplementación energética a razón de 0,25 kg MS/vaca/día hasta alcanzar el nivel máximo planeado (Dieho *et al.*, 2017).

### **Implicancias de una mala adaptación al PT:**

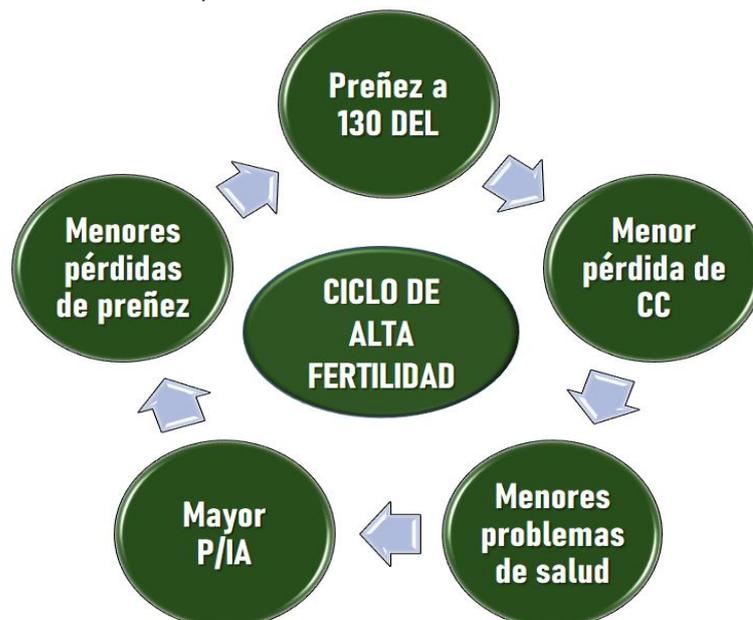
Luego de la odisea que supone el PT, las vacas deben volver a quedar preñadas para iniciar un nuevo ciclo productivo. El desempeño reproductivo del rodeo es considerado uno de los principales determinantes de la rentabilidad del sistema (Cattaneo *et al.*, 2015) y principal motivo de descarte de vacas de los rodeos a nivel mundial (Dallago *et al.*, 2021).

El CMS pre y post parto es el factor clave para lograr buenos rendimientos productivos, mantener el estado de salud y reducir el BEN (Caixeta *et al.*, 2021). Los animales que dedican más tiempo a rumiar y consumir alimentos durante el PT tienen menor riesgo de presentar enfermedades en el postparto (Sahar *et al.*, 2020). Asimismo, la intensidad y duración del BEN se asocian positivamente con el intervalo hasta la primera ovulación postparto. Según Santos *et al.* (2016), la proporción de vacas que permanecen en anestro al final del período de espera voluntario oscila entre 5 y 40%. Además, un BEN grave al comienzo de la lactancia ejerce efectos negativos latentes sobre la calidad de los ovocitos ovulados 80 a 100 días después, reduciendo

la posibilidad de concepción (LeBlanc, 2010; Ribeiro *et al.*, 2016). En este sentido, las vacas con enfermedades clínicas tienen menos probabilidades de ser cíclicas y quedar preñadas y presentan mayor riesgo de perder la preñez en los primeros 60 días de gestación (Santos *et al.*, 2011).

La pérdida de CC en inicio de lactancia, se ha asociado a una mayor incidencia de enfermedades y menor fertilidad (Britt, 1991; Meléndez *et al.*, 2020). Middleton *et al.* (2019) realizaron un seguimiento de la CC en 851 vacas desde el parto hasta los 30 días en leche (DEL) y la asociaron con su desempeño reproductivo y sanitario. Las vacas que mantuvieron o ganaron CC tuvieron menos eventos de salud que aquellas que perdieron CC durante el mismo período. La pérdida de CC en los primeros 30 DEL, estuvo asociada a menor preñez por inseminación artificial (P/IA) a primer, segundo y tercer servicio y mayor pérdida de preñez entre 35 y 60 días después de la primera IA en comparación con las vacas que mantuvieron o ganaron condición corporal.

Basándose en estas evidencias, se promueve “el ciclo de alta fertilidad” (Figura 4), argumentando que la pérdida de CC en inicio de lactancia está asociada con una mayor incidencia de patologías y menor performance reproductiva. Por el contrario, las vacas que mantienen o ganan CC en lactancia temprana experimentarán menos problemas de salud y alcanzarán la preñez más rápidamente que sus pares que perdieron. Lograr una preñez anticipadamente (antes de los 130 DEL) generará intervalos entre partos más cortos (12-13 meses) y menores ganancias de CC a final de lactancia. En contraposición, los intervalos entre partos más largos se relacionan con una mayor condición corporal al siguiente parto, mayor pérdida de condición corporal durante los primeros 30 DEL, incidencia de patologías y peores índices reproductivos (Fricke *et al.*, 2023).



**Figura 4:** El ciclo de alta fertilidad. Adaptado de Fricke *et al.* (2023)



De este modo, los cambios en la CC en inicio de lactancia se han asociado con los resultados reproductivos y de salud futuros. Para ejemplificar los efectos deletéreos de las enfermedades sobre la fertilidad de las vacas lecheras, recurrimos a un estudio en el que cuantificaron el impacto de las enfermedades sobre el desempeño reproductivo en 21 tambos de la cuenca lechera central de nuestro país. Las vacas que presentaron al menos un evento clínico de salud demoraron 55 días más en ser confirmadas preñadas, respecto a las vacas que no enfermaron (Masía *et al.*, 2022). Según los autores, estos resultados sugieren, en coincidencia con Ribeiro *et al.* (2016), efectos residuales significativos, es decir, que las consecuencias de la enfermedad clínica no se limitan al período de progresión de la enfermedad, sino que se extienden a períodos posteriores a la resolución clínica.

A nivel mundial, los descartes involuntarios asociados a problemas reproductivos y muertes en el inicio de la lactancia podrían ocultar problemas de salud subyacentes. Se han encontrado asociaciones muy fuertes entre las enfermedades que caracterizan al PT y el fin de la vida productiva de las vacas lecheras (Caixeta *et al.*, 2021). La revisión de Dallago *et al.* (2021) informa una disminución en la longevidad de las vacas lecheras, donde el desempeño reproductivo, la salud de ubre (mastitis) y los problemas podales son los motivos más importantes de descarte en los principales países productores de leche. La vida productiva de las vacas lecheras alcanza los 2,5 a 4 años promedio, por lo que la mayoría de los animales no logra superar la tercera lactancia antes de abandonar el sistema (De Vries & Marcondes, 2020). La corta vida productiva de las vacas lecheras es motivo de una creciente preocupación tanto para la industria como para la opinión pública. Esta situación se relaciona con pérdidas económicas, una huella ambiental más grande, la sostenibilidad de los sistemas y el bienestar animal (Britt *et al.*, 2018; Dallago *et al.*, 2021).

## Conclusiones

Las vacas lecheras han sido seleccionadas principalmente por su capacidad para la producción de leche, pero no necesariamente para aumentar paralelamente el consumo de materia seca en las primeras semanas de lactancia. La magnitud del balance energético negativo es variable entre animales, pero generalmente ocurre durante el primer mes de lactancia, con un nadir en los primeros 10 días en leche.

Como resultado, se producen alteraciones significativas en el metabolismo de los nutrientes, en el cual múltiples tejidos coordinan esfuerzos para compensar el déficit nutricional. Esto conduce a una resistencia a la insulina, generando un escenario hormonal que favorece el catabolismo tisular y la movilización de reservas corporales para mantener la lactogénesis. Esta sobrecarga metabólica subordina las funciones de salud.



El hecho fáctico de la alta incidencia de enfermedades durante el período de transición se traduce en problemas de fertilidad, descarte involuntario y en casos extremos, la muerte del animal. Aunque siempre habrá más que aprender, ya existe un importante cuerpo de conocimientos que debería permitirnos prevenir las enfermedades de la producción. Esto es particularmente importante en el contexto de las preocupaciones sobre la seguridad alimentaria, el bienestar de los animales y el cuidado del ambiente agrupados bajo el concepto de “una salud”. La prevención de enfermedades, en su sentido más amplio, ya no es dominio exclusivo de los médicos veterinarios y se requiere la adopción de un enfoque multidisciplinario en el que participen todos los actores de la cadena láctea. Lograr que las vacas permanezcan saludables y productivas por más tiempo dentro de los establecimientos reducirá los costos sanitarios, aumentará la rentabilidad, mejorará el bienestar y la calidad de vida de los animales y contribuirá a una industria láctea más sostenible y eficiente en el uso de recursos.

Estamos empezando a comprender cómo las relaciones de causa y efecto separadas por meses o años y mediadas por mecanismos genéticos o epigenéticos pueden gestionarse de manera beneficiosa. La selección genómica deberá contemplar características relacionadas con la inmunidad, la resistencia a enfermedades, el metabolismo energético, el consumo de materia seca, entre otros. Es necesario desarrollar, perfeccionar e implementar tecnologías que permitan identificar factores de riesgo que se integren a prácticas de manejo junto a la necesidad de poner énfasis en la difusión de conocimiento, capacitación, motivación y cambios fundamentales de actitud para la prevención de enfermedades dentro de la industria.

Estos desafíos son tan importantes como necesarios.

### **Bibliografía:**

Angeli, E., Barcarolo, D., Ribas, L., Marelli, B. E., Roskopf, P. M., Salado, E. E., Ortega, H. H. & Hein, G. J. (2021). Relevant aspects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids in the adaptation of dairy cattle to the transition period. *Livestock Science*, 244, 104346.

Arshad, U., & Santos, J. E. P. (2022). Hepatic triacylglycerol associations with production and health in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105(6), 5393-5409.

Barcarolo, D., Angeli, E., Etchevers, L., Ribas, L. E., Matiller, V., Rey, F., Ortega, H. H., & Hein, G. J. (2024). Effect of Parenteral Supplementation of Minerals and Vitamins on Oxidative Stress Biomarkers and Hepatic Fatty Acid Metabolism in Dairy Cows During the Transition Period. *Biological Trace Element Research*. 202(4), 1582-1593.



- Bargo, F., Muller, L. D., Kolver, E. S., & Delahoy, J. E. (2003). Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of dairy science*, 86(1), 1-42.
- Bradford, B. J., Yuan, K., Farney, J. K., Mamedova, L. K., & Carpenter, A. J. (2015). Invited review: Inflammation during the transition to lactation: New adventures with an old flame. *Journal of dairy science*, 98(10), 6631-6650.
- Bretschneider, G. (2009). Acidosis Ruminal en el Ganado Lechero. INTA Proyecto Lechero.  
[http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/nutricion/acidosis\\_ruminal\\_2009.pdf](http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/nutricion/acidosis_ruminal_2009.pdf)
- Britt, J. H. (1991). Impacts of early postpartum metabolism on follicular development and fertility. In *American Association of Bovine Practitioners Conference Proceedings*, 39-43.
- Britt, J. H., Cushman, R. A., Dechow, C. D., Dobson, H., Humblot, P., Hutjens, M.F. & Stevenson, J.S. (2018). Invited review: Learning from the future—A vision for dairy farms and cows in 2067. *Journal of dairy science*, 101(5), 3722-3741.
- Brown, W. E., & Bradford, B. J. (2021). Invited review: Mechanisms of hypophagia during disease. *Journal of Dairy Science*, 104(9), 9418-9436.
- Caixeta, L. S., & Omontese, B. O. (2021). Monitoring and improving the metabolic health of dairy cows during the transition period. *Animals*, 11(2), 352.
- Cattaneo, L., Baudracco, J., Lazzarini, B., & Ortega, H. (2015). Methodology to estimate the cost of delayed pregnancy for dairy cows. An example for Argentina. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44, 226-229.
- Centro de Información Lácteo Canadiense (s.f.). Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC). <https://agriculture.canada.ca/>
- Compton, C. W. R., Young, L., & McDougall, S. (2015). Subclinical ketosis in postpartum dairy cows fed a predominantly pasture-based diet: defining cut-points for diagnosis using concentrations of beta-hydroxybutyrate in blood and determining prevalence. *New Zealand veterinary journal*, 63(5), 241-248.
- Corbellini, C.; Busso Vanrell, F.; Bargo, F.; Grigera, J.; Lucas, V.; Podetti, V.; Tuñon, G.; Vidaurreta, I. (2009). Informe final del Convenio de Asistencia Técnica Institucional INTA – Elanco – AACREA “Organización y Análisis de un Sistema de Registros de Enfermedades del Periparto en Vacas Lecheras: Incidencia e Impacto Económico sobre las Empresas”. 44 pp. <http://www.pmpl-laserenisima.com.ar:8090/imagenes/comunicados/noticias/Reporte%20final%20Claves.pdf>



Curtis, C. R., Erb, H. N., Sniffen, C. J., Smith, R. D., & Kronfeld, D. S. (1985). Path analysis of dry period nutrition, postpartum metabolic and reproductive disorders, and mastitis in Holstein cows. *Journal of dairy science*, 68(9), 2347-2360.

Dallago, G. M., Wade, K. M., Cue, R. I., McClure, J. T., Lacroix, R., Pellerin, D., & Vasseur, E. (2021). Keeping dairy cows for longer: A critical literature review on dairy cow longevity in high milk-producing countries. *Animals*, 11(3), 808.

Dancy, K. M., Ribeiro, E. S., & DeVries, T. J. (2019). Effect of dietary transition at dry off on the behavior and physiology of dairy cows. *Journal of dairy science*, 102(5), 4387-4402.

Daros, R. R., Weary, D. M., & von Keyserlingk, M. A. (2022). Invited review: Risk factors for transition period disease in intensive grazing and housed dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 105(6), 4734-4748.

De Vries, A., & Marcondes, M. I. (2020). Overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows. *Animal*, 14(S1), s155-s164.

Dieho, K.; Bannink, A; Geurts, I.A.L.; Schonewille, J.T.; Gort, G.; Dijkstra, J. (2016). Morphological adaptation of rumen papillae during the dry period and early lactation as affected by rate of increase of concentrate allowance. *J. Dairy Sci.* 99: 2339–2352.

Dieho, K.; Dijkstra, J.; Klop, G.; Schonewille, J.T.; Bannink, A. (2017). Changes in rumen microbiota composition and in situ degradation kinetics during the dry period and early lactation as affected by rate of increase of concentrate allowance. *J. Dairy Sci.* 100:2695–2710.

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

Encuesta Sectorial Lechera. Ejercicio productivo 2022 – 2023. INTA. Disponible en: <https://ocla.org.ar/contents/news/details/29320295-encuesta-lechera-inta-2022-2023-presentacion>

Enemark, J. M. (2008). The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): A review. *The veterinary journal*, 176(1), 32-43.

Fricke, P. M., Wiltbank, M. C., & Pursley, J. R. (2023). The high fertility cycle. *JDS Communications*, 4(2), 127-131.

Goff, J. P., & Horst, R. L. (1997). Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *Journal of dairy science*, 80(7), 1260-1268.

Grande PA and Tadeu G. (2009). O uso do perfil metabólico na nutrição de vacas leiteiras. Núcleo Pluridisciplinar de Pesquisa e Estudo da cadeia Produtiva do Leite 2008. <http://www.nupel.uem.br/perfilmetabolico-vacas.pdf>



Herd, T. H. (2000). Ruminant adaptation to negative energy balance: Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 16(2), 215-230.

Hirst, K, K, (2017), Dairy farming—The ancient history of producing milk, <https://www.thinkco.com/dairy-farming-ancient-history-171199>

Hogeveen, H., Steeneveld, W., & Wolf, C. A. (2019). Production diseases reduce the efficiency of dairy production: A review of the results, methods, and approaches regarding the economics of mastitis. *Annual review of resource economics*, 11, 289-312.

Horst, E. A., Kvidera, S. K., & Baumgard, L. H. (2021). Invited review: The influence of immune activation on transition cow health and performance—A critical evaluation of traditional dogmas. *Journal of Dairy Science*, 104(8), 8380-8410.

Hossain, E. (2020). Sub-acute ruminal acidosis in dairy cows: Its causes, consequences and preventive measures. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 10(6), 302-312.

Humer, E.; Petri, R.M.; Aschenbach, J.R.; Bradford, B.J.; Penner, G.B.; Tafaj, M.; Südekum, K.-H.; Zebeli, Q. (2018). Invited review: Practical feeding management recommendations to mitigate the risk of subacute ruminal acidosis in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 101:872–888.

Janovick, N. A., & Drackley, J. K. (2010). Prepartum dietary management of energy intake affects postpartum intake and lactation performance by primiparous and multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93(7), 3086-3102.

Kleen, J.L.; Hooijer, G.; Rehage, J.; Noordhuizen, J. (2003). Subacute ruminal acidosis (SARA): A review. *J. Vet. Med. A Physiol. Pathol. Clin. Med.* 50:406–414.

Kuhla, B. (2020). Pro-inflammatory cytokines and hypothalamic inflammation: implications for insufficient feed intake of transition dairy cows. *Animal*, 14(S1), s65-s77.

Kolver, E. S., & Muller, L. D. (1998). Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of dairy science*, 81(5), 1403-1411.

Kvidera, S. K., Horst, E. A., Abuajamieh, M., Mayorga, E. J., Fernandez, M. S., & Baumgard, L. H. (2017). Glucose requirements of an activated immune system in lactating Holstein cows. *Journal of dairy science*, 100(3), 2360-2374.

Lean, I., & DeGaris, P. (2010). Transition Cow Management. *Dairy Australia*.



- LeBlanc, S. (2010). Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *Journal of reproduction and Development*, 56(S), S29-S35.
- Lopreiato, V., Mezzetti, M., Cattaneo, L., Ferronato, G., Minuti, A. & Trevisi, E. (2020). Role of nutraceuticals during the transition period of dairy cows: A review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11, 1-18.
- Martens, H. (2023). Invited Review: Increasing Milk Yield and Negative Energy Balance: A Gordian Knot for Dairy Cows?. *Animals*, 13(19), 3097.
- Masia, F., Molina, G., Vissio, C., Balzarini, M., de la Sota, R. L., & Piccardi, M. (2022). Quantifying the negative impact of clinical diseases on productive and reproductive performance of dairy cows in central Argentina. *Livestock Science*, 259, 104894.
- Meikle, A., Cavestany, D., Carriquiry, M., Adrien, M. D. L., Artegoitia, V., Pereira, I., Rupprechter, G., Pessina, P., Rama, G., Fernández, A., Breijo, M., Laborde, D., Pritsch, O., Ramos, J., de Torres, E., Nicolini, P., Mendoza, A., Dutour, J., Fajardo, M., Astessiano, A., Olazábal, L., Mattiauda, D. & Chilibroste, P. (2013). Avances en el conocimiento de la vaca lechera durante el período de transición en Uruguay: un enfoque multidisciplinario. *Agrociencia (Uruguay)*, 17(1), 141-152.
- Melendez, P., Bargo, F., Tuñón, G. & Grigera, J. (2020). Associations between postpartum diseases and milk yield and changes in body condition between drying off and parturition of dairy cows in Argentina. *New Zealand veterinary journal*, 68(5), 297-303.
- Menichetti, B. T., Garcia-Guerra, A., Lakritz, J., Weiss, W. P., Velez, J. S., Bothe, H., ... & Schuenemann, G. M. (2021). Effect of timing of prepartum vaccination relative to pen change with an acidogenic diet on lying time and metabolic profile in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(10), 11059-11071.
- Mezzetti, M., Cattaneo, L., Passamonti, M. M., Lopreiato, V., Minuti, A., & Trevisi, E. (2021). The transition period updated: A review of the new insights into the adaptation of dairy cows to the new lactation. *Dairy*, 2(4), 617-636.
- Middleton, E. L., Minela, T., & Pursley, J. R. (2019). The high-fertility cycle: How timely pregnancies in one lactation may lead to less body condition loss, fewer health issues, greater fertility, and reduced early pregnancy losses in the next lactation. *Journal of dairy science*, 102(6), 5577-5587.
- National Academies of Sciences, Engineering and Medicine - NASEM. (2021). Nutrient requirements of dairy cattle.
- Pascottini, O. B., Leroy, J. L., & Opsomer, G. (2022). Maladaptation to the transition period and consequences on fertility of dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 57, 21-32.



- Pryce, J. E., Royal, M. D., Garnsworthy, P. C., & Mao, I. L. (2004). Fertility in the high-producing dairy cow. *Livestock production science*, 86(1-3), 125-135.
- Qiao, K., Jiang, R., Contreras, G. A., Xie, L., Pascottini, O. B., Opsomer, G., & Dong, Q. (2024). The Complex Interplay of Insulin Resistance and Metabolic Inflammation in Transition Dairy Cows. *Animals*, 14(6), 832.
- Ribeiro, E. S., Gomes, G. C., Greco, L. F., Cerri, R. L. A., Vieira-Neto, A., Monteiro Jr., P. L. J., Lima, F. S., Bisinotto, R. S., Thatcher, W. W., & Santos, J. E. P. (2016). Carryover effect of postpartum inflammatory diseases on developmental biology and fertility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99, 2201-2220.
- Roche, J.R., Bell, A.W., Overton, T.R., Looor, J.L. (2013). Nutritional management of the transition cow in the 21st century—A paradigm shift in thinking. *Anim. Prod. Sci.* 53:1000–1023.
- Sahar, M.W.; Beaver, A.; Weary, D.M.; von Keyserlingk, M.A. (2020). Feeding Behavior and Agonistic Interactions at the Feed Bunk Are Associated with Hyperketonemia and Metritis Diagnosis in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.*, 103, 783–790.
- Salado, E. E. (2020). Efecto de distintas estrategias de alimentación sobre la respuesta productiva de vacas lecheras y la calidad de la leche.
- Salado, E. E. & Roskopf Perez, P. M. (2020). Enfermedades del período de transición en vacas lecheras: monitoreo y prevención. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, INTA.
- Santos, J. E. P., Bisinotto, R. S., Ribeiro, E. S., Lima, F. S., Greco, L. F., Staples, C. R., Pate, J. L. (2011). Applying nutrition and physiology to improve reproduction in dairy cattle. *Reproduction in Domestic Ruminants VII*, 387-403.
- Santos, J. E. P., Bisinotto, R. S., & Ribeiro, E. S. (2016). Mechanisms underlying reduced fertility in anovular dairy cows. *Theriogenology*, 86(1), 254-262.
- Santos, J. E. P., Lean, I. J., Golder, H., & Block, E. (2019). Meta-analysis of the effects of prepartum dietary cation-anion difference on performance and health of dairy cows. *Journal of dairy science*, 102(3), 2134-2154.
- Sheldon, I. M., Molinari, P. C., Ormsby, T. J., & Bromfield, J. J. (2020). Preventing postpartum uterine disease in dairy cattle depends on avoiding, tolerating and resisting pathogenic bacteria. *Theriogenology*, 150, 158-165.
- Sordillo, L. M., & Aitken, S. L. (2009). Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. *Veterinary immunology and immunopathology*, 128(1-3), 104-109.
- Sordillo, L. M. (2016). Nutritional strategies to optimize dairy cattle immunity. *Journal of dairy science*, 99(6), 4967-4982.



Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria



Ministerio  
de Economía  
República Argentina

Secretaría  
de Bioeconomía

Tabla de alimentos ruminates, INTA. <https://inta-tabla-de-alimentos-rumiantes.softonic.com/android?ex=RAMP-2046.2>

Zachut, M. & Contreras, G. A. (2022). Symposium review: Mechanistic insights into adipose tissue inflammation and oxidative stress in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105(4), 3670-3686.

Fecha de publicación: 13 de Junio de 2024