

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE VETERINARIA**

**PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN LECHE Y MANTECA DE VACAS  
HOLANDO PROVENIENTES DE ESTABLECIMIENTOS LECHEROS  
COMERCIALES CON DIFERENTES NIVELES DE INCLUSIÓN DE  
PASTURA EN LA DIETA**

**por**

**ROMANELLI CEDREZ, Luisa**

**MARTINEZ CABANA, Rafael**

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

Orientación: Higiene, Inspección-Control y Tecnología de los Alimentos de Origen Animal.

MODALIDAD: Trabajo de investigación

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2025**

## PÁGINA DE APROBACIÓN

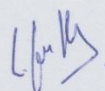
Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa:



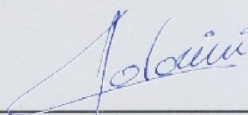
PhD. Tomás López- Pedemonte

Segundo miembro (Tutor):



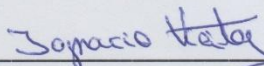
PhD. MSc. DCV Lucía Grille Peés

Tercer miembro:



Dr. Maximiliano Pastorini

Cuarto miembro (Co-tutor):



PhD. Ing. Alim. Ignacio Vitez Osorio

Quinto miembro (Co-tutor):



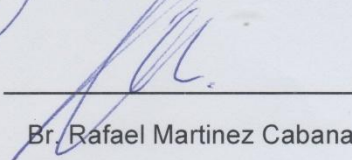
Ing. Alim. Santiago Jorcín

Fecha: 22/7/2025

Autores:



Br. Luisa Romanelli Cedrez



Br. Rafael Martinez Cabana

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de la República y en especial a la FVET por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

A nuestros tutores, Lucía, Ignacio y Santiago, por habernos incluido en este proyecto, por su orientación y por compartir sus conocimientos y experiencia a lo largo de este trabajo final de carrera.

A nuestras madres, padres, hermanas/os y familiares, por ser incondicionales y un pilar fundamental en nuestras vidas. ¡Este logro también es suyo!.

Amigas/os y parejas por siempre ser un apoyo incondicional que incluso sin entender muchas veces de lo que estábamos hablando, prestaron un oído y acompañaron siempre.

A la Facultad de Química y UTEC - Colonia (en especial a Tatiana, Cecilia y Santiago) por abrirnos sus puertas y ayudarnos a llevar a cabo este trabajo.

# TABLA DE CONTENIDO

|  | PÁGINAS |
|--|---------|
| PÁGINA DE APROBACIÓN.....  | 2       |
| AGRADECIMIENTOS .....  | 3       |
| LISTA DE TABLAS Y FIGURAS .....  | 6       |
| RESUMEN.....   | 8       |
| SUMMARY .....  | 9       |
| INTRODUCCIÓN.....  | 10      |
| REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....  | 12      |
| 1.1. La lechería en el mundo y en Uruguay .....  | 12      |
| 1.2. Sistemas productivos lecheros: sistema de base pastoril (sistemas mixtos) vs. sistemas confinados .....                                   | 13      |
| 1.3. Composición de la leche y manteca .....   | 15      |
| 1.3.1. Lípidos y composición lipídica de la leche.....   | 15      |
| 1.3.1.1. Origen de los ácidos grasos de la leche.....  | 18      |
| 1.3.1.2. Principales ácidos grasos de la leche e índices relevantes para la salud humana en leche y productos lácteos.....                     | 20      |
| 1.3.2. Alimentación de la vaca lechera, producción, calidad de leche y manteca.....  | 22      |
| HIPÓTESIS.....   | 25      |
| OBJETIVOS.....   | 25      |
| 1.4. OBJETIVO GENERAL .....  | 25      |
| 1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 25      |
| MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 25      |
| 1.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.....  | 25      |
| 1.6.1. Relevamiento del perfil de ácidos grasos en leche .....   | 25      |
| 1.6.1.1. Selección de predios y estructura de alimentación .....   | 25      |
| 1.6.1.2. Muestreo de leche.....  | 26      |
| 1.6.2. Relevamiento del perfil de ácidos grasos en manteca.....  | 26      |
| 1.6.2.1. Selección de predios y estructura de la alimentación .....  | 26      |
| 1.6.3. Muestreo de leche para manteca .....  | 27      |
| 1.6.4. Elaboración de manteca .....  | 27      |
| 1.6.5. Procesamiento de las muestras (leche, manteca y alimento).....  | 27      |
| 1.6.5.1. Extracción de grasa en leche.....   | 27      |
| 1.6.5.2. Determinación del perfil de ácidos grasos en leche.....   | 28      |
| 1.6.5.3. Extracción de ácidos grasos y determinación del perfil de ácidos grasos en manteca .....  | 28      |
| 1.6.5.4. Determinación del perfil de ácidos grasos en alimento (dieta total mezclada y pastura) .....  | 28      |
| 1.7. Perfil de ácidos grasos en el alimento (pastura y suplemento) en sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta ..... | 29      |
| 1.8. Perfil de ácidos grasos del alimento de predios en los que se elaboró manteca: MIX y C-DTM.....   | 30      |
| 1.9. Cálculo de índices nutricionales de importancia en lácteos.....   | 31      |

|  |    |
|--|----|
| 1.10. Análisis estadístico .....                                       | 31 |
| RESULTADOS .....   | 32 |
| 2.1 Porcentaje de grasa total y perfil de ácidos grasos en leche ..... | 32 |
| 2.2 Perfil de ácidos grasos de las mantecas .....                      | 37 |
| DISCUSIÓN.....   | 41 |
| CONCLUSIONES .....   | 46 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 47 |

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Listado de ácidos grasos de relevancia en la leche de vaca, agrupados según grado de saturación, detallando nombre, número de átomos de carbono, porcentaje en leche y efectos en la salud humana..... | 17 |
| Tabla 2 Porcentaje de Ácidos Grasos Saturados (en g AG/100 g de grasa) en alimento (pastura y suplemento) en sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta .....                          | 29 |
| Tabla 3 Porcentaje de Ácidos Grasos Monoinsaturados (AGMI) (en g AG/100 g de grasa) en alimento (pastura y suplemento) en sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta.....              | 30 |
| Tabla 4 Porcentaje de Ácidos Grasos Poliinsaturados (en g AG/100 g de grasa) en alimento (pastura y suplemento) en sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta .....                    | 30 |
| Tabla 5 Porcentaje de Ácidos Grasos (en g/100g de grasa) en el alimento de los establecimientos seleccionados para elaborar manteca: MIX y C-DTM .....   | 31 |
| Tabla 6 Ácidos Grasos Saturados (en g AG/100 g de grasa) en leche de sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta en los distintos tiempos de muestreo.....                              | 33 |
| Tabla 7 Ácidos Grasos Monoinsaturados (en g AG/100 g de grasa) en leche de sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta en los distintos tiempos de muestreo .....                       | 34 |
| Tabla 8 Ácidos Grasos Poliinsaturados, en g AG/100 g de grasa en leche de sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta en los distintos tiempos de muestreo .....                        | 35 |
| Tabla 9 Ácidos Grasos Ramificados, en g AG/100 g de grasa en leche de sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta en los distintos tiempos de muestreo.....                             | 36 |
| Tabla 10 Ácidos Grasos Saturados en manteca (en g AG/100 g de grasa) y leche-materia prima (L-MP), proveniente de predios C-DTM y MIX en primavera.....  | 37 |
| Tabla 11 Ácidos Grasos Monoinsaturados en manteca (en g AG/100 g de grasa) y leche-materia prima (L-MP), proveniente de predios C-DTM y MIX en primavera.....  | 38 |
| Tabla 12 Ácidos Grasos Poliinsaturados en manteca (en g AG/100 g de grasa) y leche-materia prima (L-MP), proveniente de predios C-DTM y MIX en primavera.....  | 39 |
| Tabla 13 Ácidos Grasos Ramificados en manteca (en g AG/100 g de grasa) y leche-materia prima (L-MP), provenientes de predios C-DTM y MIX en primavera .....  | 40 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Síntesis de novo de ácidos grasos en glándula mamaria. Adición de dos carbonos a la cadena de ácidos grasos en crecimiento: secuencia de 4 pasos. Modificado de Nelson y Cox (2017). .....                          | 18 |
| Figura 2 Esquema de los procesos de lipólisis y biohidrogenación ruminal. Adaptado de Bauman et al. (2003). GL: glicolípidos, TG: triacilglicéridos, AG: ácidos grasos, AGV: ácidos grasos volátiles, FL: fosfolípidos. .... | 19 |
| Figura 3 Mecanismos de síntesis del Ácido linoleico conjugado (CLA) adaptado de Daley et al., (2010). TVA: Ácido <i>trans</i> -vaccénico.....  | 21 |

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar y comparar los ácidos grasos (AG) benéficos para la salud humana presentes en la leche y en la manteca, obtenida de sistemas lecheros con diferentes niveles de inclusión de pastura en la dieta de las vacas. Se llevaron a cabo dos tratamientos de acuerdo con la proporción de pastura en la dieta: alta pastura (AP, >65%) y baja pastura (BP, <35%) (n=6). Las muestras de leche fueron recolectadas, con frecuencia quincenal, a partir de leche de tanque de establecimientos lecheros ubicados en la cuenca lechera litoral norte de Uruguay. La manteca se elaboró utilizando leche de dos tambos seleccionados con sistemas de manejo y alimentación contrastantes: sistema mixto (basado en pastoreo con suplementación) (MIX), y sistema confinado con dieta total mezclada (100% DTM; C-DTM). La grasa de la leche y manteca se extrajo utilizando el método de Röse-Gottlieb, mientras que la grasa de los alimentos se extrajo con la técnica de Hara & Radin. La composición de AG en leche, manteca y alimentos se determinó mediante cromatografía de gases. La leche de AP mostró una mayor proporción de AG considerados beneficiosos para la salud humana, tales como el ácido *trans*-vaccénico (TVA) (p=0.012), ácido linoleico conjugado (CLA) (p=0.014), 18:3 n-3 (p=0.033), total de AG de cadena ramificada (AGCR) (p=0.006), y AG de cadena impar ramificados (AGCIR) como 15:0 iso y anteiso (p=0.029; p=0.008, respectivamente) y 17:0 iso (p=0.005), en comparación con la leche de BP. La manteca del establecimiento MIX mostró mayores porcentajes de 15:0 (p=0.025), 17:0 (p=0.030), 15:0 anteiso (p=0.012), AG monoinsaturados totales (AGMI) (p=0.037), TVA (p=0.024) y CLA (p=0.042) que el C-DTM. Aunque no se encontraron diferencias significativas en la relación n-6/n-3, la leche de AP presentó una relación de 2/1, mientras que la leche BP mostró una relación de 5/1, valores por encima de los niveles recomendados. En conclusión, una mayor inclusión de pastura en los sistemas lecheros no solo mejora el perfil de AG de la leche, sino que también da como resultado un producto final (manteca) con características nutricionales más favorables para la salud humana.



## SUMMARY

The objective of this study was to determine and compare beneficial fatty acids (FA) to human health in milk and butter, originating from dairy systems with different levels of pasture inclusion in the diet. Two treatments were carried out according to the proportion of pasture in the diet: high pasture (HP, >65%) and low pasture (LP, <35%) (n=6). Bulk milk samples were collected fortnightly from each farm, all located in the northern dairy basin of Uruguay. Butter was produced using milk from two selected farms with contrasting management and feeding systems: mixed system (pasture-based and supplementation) (MIX), and confined system with total mixed ration (100% TMR; C-TMR). Milk and butter fat were extracted using the Röse-Gottlieb method, while the fat from feedstuffs was extracted using the Hara & Radin technique. Fatty acid composition in milk, butter, and feed was determined by gas chromatography. Milk from HP farms showed a higher proportion of FAs considered beneficial to human health, such as *trans*-vaccenic FA (TVA) (p=0.012), conjugated linoleic acid (CLA) (p=0.014), 18:3 n-3 (p=0.033), total branched-chain FAs (BCFAs) (p=0.006), and odd- and branched-chain FAs (OBCFAs) such as 15:0 iso and anteiso (p=0.029; p=0.008, respectively) and 17:0 iso (p=0.005), compared to milk from LP farms. Butter from the MIX system showed higher percentages of 15:0 (p=0.025), 17:0 (p=0.030), 15:0 anteiso (p=0.012), total monounsaturated fatty acids (MUFA) (p=0.037), TVA (p=0.024), and CLA (p=0.042) in compared to C-TMR. Although there were no significant differences in the n-6/n-3 ratio, milk from the HP treatment had a ratio of 2/1, while LP milk showed a ratio of 5/1, values above recommended levels. In conclusion, a higher inclusion of pasture in dairy systems not only improves the FA profile of milk but also results in a final product (butter) with more favorable nutritional characteristics for human health.

## INTRODUCCIÓN

La leche y sus derivados son considerados alimentos ricos en nutrientes como proteína, ácidos grasos (AG), calcio, magnesio, potasio, zinc y fósforo, y con una alta biodisponibilidad (Badui Dergal, 2006). Asimismo, en los últimos años se ha descrito una asociación beneficiosa entre su consumo y distintas condiciones fisiopatológicas del humano (Bauman et al., 2006). La composición de la leche y sobre todo la grasa láctea (componente más variable) está muy influenciada por la alimentación de la vaca lechera (Dewhurst et al., 2006). En este sentido, la utilización de pasturas tiene múltiples ventajas, dentro de las cuales se puede destacar la mejora de la calidad nutricional de la grasa láctea de la leche y los productos elaborados a partir de la misma (Bär et al., 2020). Así, la leche y productos lácteos provenientes de sistemas pastoriles presentan mayor proporción de algunos AG considerados benéficos para la salud de los consumidores como ser mayor contenido de ácido linolénico (18:3 n-3), ácido linoléico conjugado (CLA; 18:2 c9 t11), ácido *trans*-vaccénico (TVA; 18:1 t11), algunos ácidos grasos de cadena impar ramificados (AGCIR) (Bauman & Griinari, 2001; Taormina et al., 2020) así como una menor relación n-6/n-3 e índice Aterogénico (IA) menor (Simopoulos, 2002; 2008; Barca et al., 2018; Grille et al., 2022). Estos AG al ser benéficos para la salud humana son demandados por ciertos consumidores de productos lácteos (Croissant et al., 2007).

Existe gran variedad de sistemas de alimentación a lo largo del mundo. En Uruguay predominan los denominados sistemas mixtos (SM) (base pastoril con suplementación). Estos sistemas tienen como ventajas: menores costos de producción, una imagen positiva sobre el bienestar animal y una adecuada calidad de la grasa (AG benéficos) (Barca et al., 2018; Grille et al., 2022; 2023), cualidades consideradas positivas por parte de los consumidores. Por otro lado, los sistemas de encierro (confinados) donde las vacas son alimentadas con una dieta total mezclada (DTM) balanceada (100% DTM) hace que la vaca logren satisfacer los requerimientos nutricionales, garantizando un consumo homogéneo de los ingredientes que la componen, así como también permitiendo que se aumente el consumo de materia seca (MS) total y la ingesta de energía (Bargo et al., 2003; Cajarville et al., 2012; Fajardo et al., 2015; Lammers et al., 2002; Mendoza et al., 2011) aumentando así la producción individual y logrando una menor dependencia de las variaciones climáticas que se presentan en los SM. Sin embargo, las desventajas están relacionadas al mayor costo de producción de estos sistemas y sobre todo a la menor concentración de algunos AG considerados benéficos para los consumidores, lo que puede afectar negativamente la calidad de los productos lácteos derivados de estos sistemas.

Por lo anterior, en este trabajo se estudió cómo diferentes niveles de pastura en la dieta en predios comerciales de la región litoral norte del Uruguay afectan la calidad nutricional de la grasa láctea. Se evaluó el perfil de AG con particular énfasis en los considerados benéficos para la salud humana tanto en leche como en manteca. Los autores consideran que este estudio es de relevancia a nivel nacional dado que, según nuestro conocimiento, hasta el momento no existen trabajos que evalúen cómo la estructura de la alimentación en predios

comerciales repercute en la calidad de la grasa láctea ni en productos industrializados como la manteca.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. La lechería en el mundo y en Uruguay

En muchos países la producción láctea es altamente consumida y valorada, y asimismo, la demanda de leche y sus derivados se proyecta que continúe creciendo marcadamente en las próximas décadas (Adesogan & Dahl, 2020). La producción mundial de leche está principalmente representada por la leche de vaca, seguida de la de búfalo y en un porcentaje minoritario, leche proveniente de otras especies animales (International Dairy Federation [IDF], 2023).

Uruguay tiene una producción anual de 2,2 millones de litros de leche, con 3.000 productores ubicados en 652.000 hectáreas. El tambo promedio tiene 141 vacas en ordeño y 220 hectáreas, produciendo 18 litros de leche por vaca por día (Instituto Nacional de la Leche [INALE], 2025). En el año 2023 se contabilizó un total de 693.000 cabezas de ganado en un 63% del total del área mejorada; estas incluyen praderas permanentes, campo mejorado y forrajes anuales (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca [MGAP], 2024). Dicha producción está mayormente localizada en las dos cuencas lecheras del país: la cuenca del sur que está integrada por los departamentos de San José, Montevideo, Florida, Canelones y Colonia, y la cuenca del litoral oeste, constituida por Soriano, Río Negro, Paysandú y Salto (MGAP, 2015; Souto et al., 2018). En los años 2019-2020, la producción de leche presentó un aumento tanto en la producción total como en el procesamiento en los predios. Sin embargo, al mismo tiempo se evidenció una leve caída en la cantidad total de productores y superficie total ocupada por el rubro, pero con incrementos en la productividad y eficiencia (Centro de Estudios de la Realidad Económica y Social [CERES], 2021). En el período 2022-2023, el destino de la producción de leche se puede desglosar en: un 84,9% de la leche se remite, un 11,5% es procesada en el predio, un 3,16% es consumido en tambos y un 0,26% se utiliza para otros consumos (MGAP, 2024).

En Uruguay la producción lechera es uno de los principales rubros agropecuarios, su explotación ocupa un 3% de la superficie agropecuaria (MGAP, 2024). Sin embargo, es el sector con mayores ingresos de exportación por hectárea, ya que un 70% de la leche producida se exporta a más de 60 países, colocándose como el 9° país exportador a nivel mundial de leche (INALE, 2025). Los principales productos exportados son: leche en polvo entera (LPE) (67% del total exportado), quesos (12%), manteca (8%), leche en polvo descremada (LPD) (6%) y otros derivados (8%) (INALE, 2024). La LPE es vendida en su mayoría a Brasil y Argelia con el 38% y 37%, respectivamente. El segundo lácteo en importancia es el queso con principales destinos son Brasil con un 34%, México con un 17% y Chile 12%. En tercer lugar, se encuentra la Manteca exportada mayoritariamente a Rusia con 27%, Arabia Saudita con 12%, Marruecos con 9% y Egipto con 8%. Por último la LPD se exporta mayoritariamente a Brasil con 65% y Argelia con 17% (INALE, 2024). No obstante, no toda la producción se destina a la exportación, sino que también abastece el mercado interno. Uruguay se destaca por tener un consumo anual de leche que se estima en 230 litros per cápita, lo cual representa más del doble

del promedio mundial (INALE, 2025). En las plantas industriales la leche se procesa para dos destinos: 1) leche fluida pasteurizada para consumo, y 2) elaboración de productos lácteos, fundamentalmente leche en polvo (entera y descremada), manteca y yogures (Souto et al., 2018).

Por lo tanto, la leche y los productos lácteos ocupan un lugar importante en la economía del país. La mayoría de los productos lácteos se industrializan y se exportan. Por lo que conocer la calidad nutricional de la leche (principalmente la calidad de la grasa láctea) producida en predios de nuestro país, y cómo estos influyen en la calidad de los productos industrializados (manteca) genera información de utilidad a la industria láctea, mejorando el valor agregado de los mismos y un mejor posicionamiento frente a los mercados internacionales.

### **1.2. Sistemas productivos lecheros: sistema de base pastoril (sistemas mixtos) vs. sistemas confinados**

Los sistemas que tienen pastura como parte de su estructura de alimentación (principalmente pastoreo directo) ofrecen ventajas en lo que respecta a la producción lechera, como ser: i) promover la utilización de recursos localmente disponibles; ii) contribuir al bienestar animal: en este sistema se describe que las vacas están la mayor parte del tiempo pastando, rumiando y descansando, comportamientos que son considerados indicadores positivos del bienestar animal (Krawczel et al., 2009); iii) es una fuente de MS y energía metabolizable (EM) con bajo costo económico (Zibil et al., 2016), iv) puede mejorar la calidad nutricional de los productos (Bär et al., 2020) y v) tanto la materia orgánica, la fracción fibrosa y nitrogenadas de las pasturas son altamente digeridas en el rumen (Aguerre et al., 2017). Este tipo de alimento cuenta con un 18-24% de MS, 18-25% de proteína bruta (PB), 40-45% de fibra neutro detergente (FND) y de 1,53-1,67 Mcal/kgMS de energía neta de lactación (Aguerre et al., 2017). Por otro lado, algunas desventajas del sistema pastoril son: i) limitantes en alcanzar el máximo potencial genético de las vacas en parámetros de producción de leche (Mendoza et al., 2011; Cajarville et al., 2012; Charlton y Rutter, 2017), en otras palabras, la producción máxima de leche que en teoría produciría el animal no se alcanza cuando la alimentación es sólo en base al pastoreo y además suma un gasto energético debido a la caminata en búsqueda de la pastura (Jasinsky et al., 2019). ii) El crecimiento de las pasturas y cultivos varía en las distintas estaciones del año y se convierte en una limitante en determinados periodos (Méndez et al., 2020), estimándose que un 50% del pasto se produce en primavera, el 25% en el otoño, el 15% en verano y el 10% en invierno (Instituto Plan Agropecuario [IPA], 2009). iii) Los animales están más expuestos a condiciones climáticas extremas que afectan su fisiología, producción y bienestar. Por ejemplo, las altas temperaturas que puede haber en verano, así como también la humedad, afectan la salud y reproducción del animal y en consecuencia la producción y composición de la leche (Cowley et al., 2015; Morales-Piñeyrúa et al., 2022).

Dada las desventajas mencionadas anteriormente, el pastoreo puede combinarse con diferentes proporciones de suplementación (forrajes

conservados, concentrados o DTM) situación que se da en los llamados SM (Barca et al., 2018; Cajarville et al., 2012). Así, la suplementación estratégica es beneficiosa sobre todo en los momentos donde las pasturas no logran cubrir los requerimientos nutricionales (Cajarville et al., 2012; Charlton & Rutter, 2017) o las inclemencias climáticas no permiten el pastoreo directo por parte de las vacas lecheras. Por otro lado, este sistema de alimentación mejora la calidad de la grasa láctea; está reportado que el perfil de AG en vacas con alimentación combinando DTM y pastoreo tiene un impacto positivo en los AG que se consideran beneficiosos para la salud de los consumidores: estos son AG linolénico (C18:3 n-3), TVA y CLA, comparado a las que tienen alimentación sólo con DTM (Artegoitia et al., 2013; Barca et al., 2018; Chilibroste & Battezzazzore, 2014; Pastorini et al., 2019).

Por otro lado, se encuentran los sistemas confinados donde la vaca se alimenta exclusivamente de DTM, en la cual se combinan todos los ingredientes que se deben suministrar a los animales en una sola ración. Algunas ventajas de este tipo de sistemas de alimentación en comparación con los SM i) el animal consigue el aporte necesario de nutrientes con una relación forraje/concentrado óptima, por aumento del consumo de MS total y aumento de la ingesta de energía (Fajardo et al., 2015); ii) no permite que el animal seleccione ingredientes según su preferencia (Gill, 1979); iii) mayor producción de leche individual; iv) mayor control de problemas digestivos y metabólicos; v) incorporación de alimentos que normalmente no son agradables para los animales (Lammers, 2002; Mendoza et al., 2011) y vi) resguardo de inclemencias climáticas. Por otra parte, este sistema también tiene desventajas, por ejemplo: i) mayor inversión en equipos para la mezcla y el reparto de la DTM; ii) infraestructura e instalaciones para la alimentación de los animales; iii) saneamiento y sistema de tratamiento de efluentes; iv) almacenamiento de los alimentos (Lammers, 2002) y v) problemas de salud como lo son la mastitis ambiental y afecciones podales (Charlton & Rutter, 2017).

En Uruguay, los sistemas lecheros son principalmente del tipo SM. Según Fariña & Chilibroste (2019) en un relevamiento realizado en Uruguay en predios remitentes, describen que la estructura de la alimentación consistía en un 50% de cosecha directa de forraje, 25% de concentrados y 25% de reservas. A su vez el forraje está representado en su mayoría por pasturas nativas y sembrado de gramíneas-leguminosas (Fariña & Chilibroste, 2019). En lo que respecta a la suplementación, Uruguay presenta niveles variables, constituida principalmente por concentrados y forrajes conservados (Darré et al., 2021).

Dado todo lo anterior explicitado, se puede afirmar que los SM presentan ventajas comparativas con los sistemas 100% DTM, sobre todo en lo que refiere a el bienestar de los animales, menores costos de producción y calidad de leche. Específicamente, el pastoreo tiene un impacto positivo en la calidad nutricional de la grasa láctea, lo que repercute en una mejor calidad de los productos lácteos elaborados a partir de estos sistemas.

### 1.3. Composición de la leche y manteca

La leche es definida como el producto integral del ordeño total e ininterrumpido de hembras lecheras sanas, adecuadamente nutridas y no fatigadas, recogida de forma higiénica y sin contener calostro (Ministerio de Salud Pública [MSP], 1994). Se compone de agua (86-90%, principal componente) y el resto corresponde a los sólidos totales (denominado también extracto seco), los cuales están formados por los carbohidratos, las proteínas, las grasas, las sales y las vitaminas. Como representante de los carbohidratos encontramos en primer lugar a la lactosa (disacárido formado por la unión de una molécula de glucosa y otra de galactosa). Adicionalmente, la leche contiene otros azúcares que no se absorben, los llamados galacto-oligosacáridos (GOS), que favorecen la existencia de la microbiota intestinal, actuando como alimento para las bacterias intestinales beneficiosas para el organismo humano. Por otro lado, las proteínas se encuentran representadas en mayor medida por las caseínas (o también denominadas proteínas insolubles) y en menor medida por las proteínas solubles, de las cuales el principal componente es la  $\beta$ -lactoglobulina. Los minerales más abundantes son potasio, sodio, calcio, magnesio, cloro, fosfato y otros elementos en cantidades trazas (Walstra, 2001). Las vitaminas por su parte, se clasifican en hidrosolubles y liposolubles. Dentro de las primeras están la riboflavina, B6, B12, C, biotina, niacina, tiamina, folatos y ácido pentoténico; dentro de las liposolubles están las vitaminas A, D, E y K (Badui Dergal, 2006). Desde el punto de vista físico-químico, la leche es un fluido acuoso, complejo, formado por la presencia de varias fases en equilibrio, se puede decir que es una emulsión de una fase grasa en una fase acuosa coloidal continua. Por lo cual, coexisten varios estados: emulsión de la materia grasa, dispersión de caseínas ligada a sales y solución acuosa como medio continuo (Walstra, 2001).

La manteca por su parte, puede ser definida como una emulsión de agua en grasa, conteniendo un 80% de grasa y un 16% de agua. Es un producto graso obtenido exclusivamente por el batido y amasado de la grasa láctea, con o sin modificación biológica de la crema pasteurizada, derivado exclusivamente de la leche de vaca por procesos tecnológicos adecuados (MSP, 1994).

#### 1.3.1. Lípidos y composición lipídica de la leche

La grasa láctea se encuentra en forma de glóbulo microscópicos (0,1-15  $\mu\text{m}$ ) en una emulsión de lípidos en agua (García et al., 2014; Walstra, 2001). La leche de vaca tiene un porcentaje muy variable de grasa, que oscila entre 3,4-5,3% (Alothman et al., 2019). Los lípidos que contiene la leche de vaca son en un 98% triacilglicéridos, seguidos por los di- y monoglicéridos (Walstra, 2001). Adicionalmente, hay otros lípidos que se encuentran en una concentración menor, por ejemplo: fosfolípidos, AG libres, esteroides y sus ésteres, y algunos hidrocarburos (Badui Dergal, 2006).

Los triacilglicéridos están formados por una molécula de glicerol y 3 moléculas de AG. Los diferentes triacilgliceroides tienen distintos AG y también pueden diferir en la posición de los distintos AG. Los AG están formados por una cadena

de carbonos con un grupo carboxílico en el extremo. El largo de la cadena carbonada puede variar de 4 a 26 átomos de carbono predominando en la leche las cadenas de número par. Adicionalmente, pueden diferir en presentar o no dobles enlaces (grado de insaturación), y en el caso de los AG insaturados (AGI) en el número de insaturaciones, posición (conjugados o no conjugados) y orientación de las mismas (configuración *cis* o *trans*) (Badui Dergal, 2006). Por otro lado, en la grasa láctea también se pueden encontrar algunos AG de cadena impar o presentar ramificaciones en su grupo terminal (Walstra, 2001).

En la leche se han determinado más de 400 AG, entre ellos: AG de cadena corta y media (de 4 a 12 carbonos), AG de cadena larga (de 14 a 26 carbonos), isómeros posicionales, CLA, AG de cadena ramificada (AGCR) dentro de los cuales los AGCIR, como el 15:0 y 17:0, han tenido especial interés por sus beneficios en la salud humana (Gómez-Cortes et al., 2018; Taormina et al., 2020). En lo que refiere a la composición de la leche, en general cuenta con un 60-70% de AG saturados (AGS), 20-25% de AG monoinsaturados (AGMI), y aproximadamente un 3-5% son AG poliinsaturados (AGPI). Del gran porcentaje de AGS, menos del 40% se encuentran dentro de la categoría de no saludables (Calvo et al., 2014; Elgersma et al., 2006). Los AG láurico (12:0), mirístico (14:0) y palmítico (16:0), son considerados los menos saludables para la salud humana dado a que favorecen el incremento de las lipoproteínas de baja densidad (LDL), y por ende pueden ocasionar enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades no transmisibles, propiciando un factor de riesgo, aunque al mismo tiempo también aumentan las lipoproteínas de alta densidad (HDL) (Haug et al., 2007). Sin embargo, no todos los AGS tienen los mismos efectos sobre la salud.

Por otro lado, en la actualidad, existe un gran interés por aumentar la proporción de AGPI dado que son los que aportan los mayores beneficios en la salud humana; el CLA cuyo principal isómero es el ácido ruménico (AR) (18:2 c9, t11) representa alrededor del 85% de los isómeros y está relacionado con efectos antiaterogénico, anticarcinogénico, antiinflamatorio, inmunoestimulante y de modulación de la resistencia a la insulina (García et al., 2014; Pariza et al., 2001). El isómero 18:2 t10, c12 representa alrededor del 2% de los isómeros del CLA, posee propiedades beneficiosas anticarcinogénicas y anti-obesidad (García et al., 2014).

En la Tabla 1 se detallan algunos AG presentes en la leche y sus efectos en la salud del consumidor. Dentro del grupo de los AGS los que se encuentran en mayor proporción son los AG mirístico (14:0), palmítico (16:0) y el esteárico (18:0) y también una proporción elevada del AG butírico (4:0) (éste tiene a su vez la particularidad de encontrarse casi exclusivamente en la leche) (Badui Dergal, 2006). Para el caso de los AGI, el ácido oleico (18:1) es el que se encuentra en mayor proporción.



Tabla 1 Listado de ácidos grasos de relevancia en la leche de vaca, agrupados según grado de saturación, detallando nombre, número de átomos de carbono, porcentaje en leche y efectos en la salud humana.

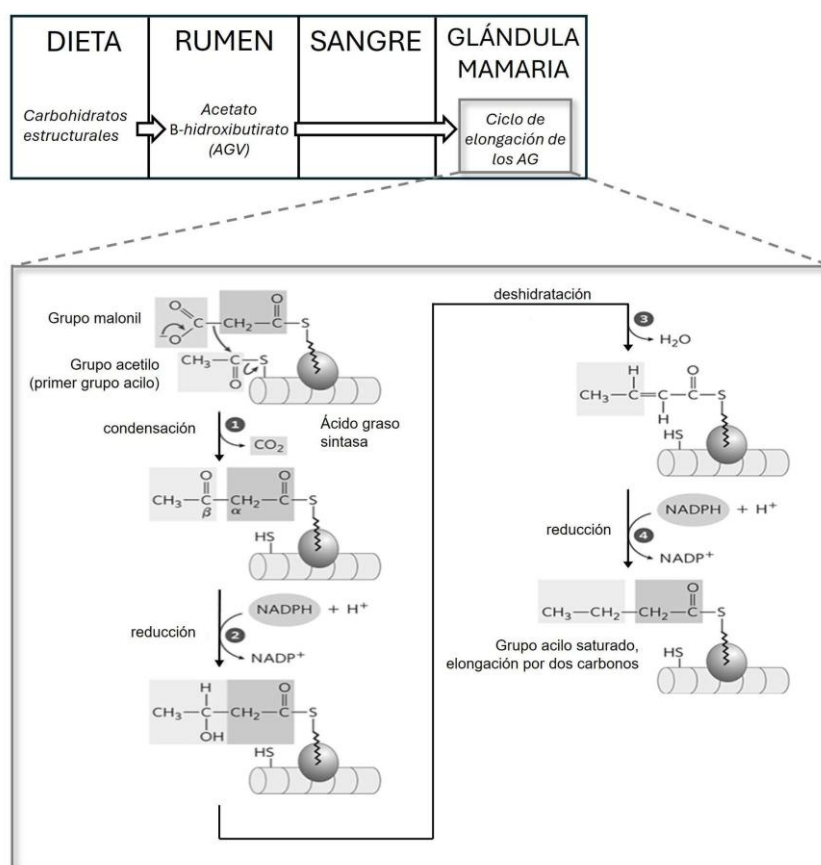
| Ácidos grasos      | Átomos de Carbono | Porcentaje (%) | Efectos en la salud                             |
|--------------------|-------------------|----------------|---|
| Ácidos saturados   |                   |                |   |
| Butírico           | 4:0               | 2-5            | Modulador genético y prevención del cáncer      |
| Caproico           | 6:0               | 1-5            | Antitumoral, antiviral y antimicrobiano         |
| Caprílico          | 8:0               | 1-3            | Antitumoral, antiviral y antimicrobiano         |
| Cáprico            | 10:0              | 2-4            | Inhibe COXI y COXII                             |
| Láurico            | 12:0              | 2-5            | Antiviral y antimicrobiano. Inhibe COXI y COXII |
| Mirístico          | 14:0              | 8-14           | Aumenta el LDL y HDL                            |
| Valérico           | 15:0              | 1-2            |   |
| Palmítico          | 16:0              | 22-35          | Aumenta el LDL y HDL                            |
| Margárico          | 17:0              | 0,5-1          |   |
| Esteárico          | 18:0              | 9-14           |   |
| Aráquico           | 20:0              | 0,2            |   |
| Ácidos insaturados |                   |                |   |
| Palmitoleico       | 16:1              | 1-3            |   |
| Oleico             | 18:1              | 20-30          | Previene CHD, da estabilidad a la membrana      |
| Vaccénico          | 18:1              | 2-3            |   |
| Linoleico          | 18:2              | 1-3            | Ácido graso omega 6                             |
| Linolénico         | 18:3              | 0,5-2          | Ácido graso omega 3                             |
| Araquidónico       | 20:2              | 0,3            |   |
| CLA                | 18:2 conjugado    | 0,3-1          | Anticarcinógeno, antiteratogénico, mejora el SI |

Tabla adaptada de Cornes, R. (2014). COXI: ciclooxigenasa-1, COXII: ciclooxigenasa-2, LDL: lipoproteínas de baja densidad, HDL: lipoproteínas de alta densidad, CHD: cardiopatía coronaria, CLA: Ácido linoleico conjugado, SI: Sistema Inmune.

### 1.3.1.1. Origen de los ácidos grasos de la leche

Los AG de la leche provienen de 3 fuentes principales: i) sintetizados *de novo* en la glándula mamaria (GM), ii) provenientes de la dieta y iii) movilización de grasas corporales.

i) Los AG sintetizados *de novo* en la GM utilizan como sustratos al acetato (2C) y al  $\beta$ -hidroxibutirato (4C), los cuales son AG volátiles (AGV) sintetizados en el rumen a partir de los carbohidratos estructurales de la dieta. Ambos AGV pasan al torrente sanguíneo y en la GM entran en el ciclo de elongación. El ciclo de elongación consiste en la repetición de una secuencia de 4 pasos, en la cual en cada ciclo el AG crece en 2C, (a un grupo acetilo o a un grupo acilo de distinto largo (por ejemplo, el butirilo) se le agregan 2 carbonos del intermediario malonil-CoenzimaA), dando lugar finalmente a AG de hasta 16C de longitud (Nelson & Cox, 2017) (Figura 1).



**Figura 1** Síntesis *de novo* de ácidos grasos en glándula mamaria. Adición de dos carbonos a la cadena de ácidos grasos en crecimiento: secuencia de 4 pasos. Modificado de Nelson & Cox (2017).

ii) Los AG provenientes de la dieta sufren dos transformaciones en el rumen: la lipólisis y la biohidrogenación (BH). La lipólisis consiste en la hidrólisis de los AG esterificados provenientes de la dieta (triacylglicéridos, glicolípidos y fosfolípidos). La BH consiste en la reducción de los dobles enlaces de los AGI

**Lipólisis**

TG → [O-AG]  
[O-AG]  
[O-AG] → Glicerol + AG  
OH  
OH  
OH

**Biohidrogenación**

GL → [O-Azúcar]  
[O-AG]  
[O-AG] → OH  
OH  
OH + AG-  
AG

AG → AG's → AG

Microorganismos

FL microbianos

Grasas inertes

RUMEN

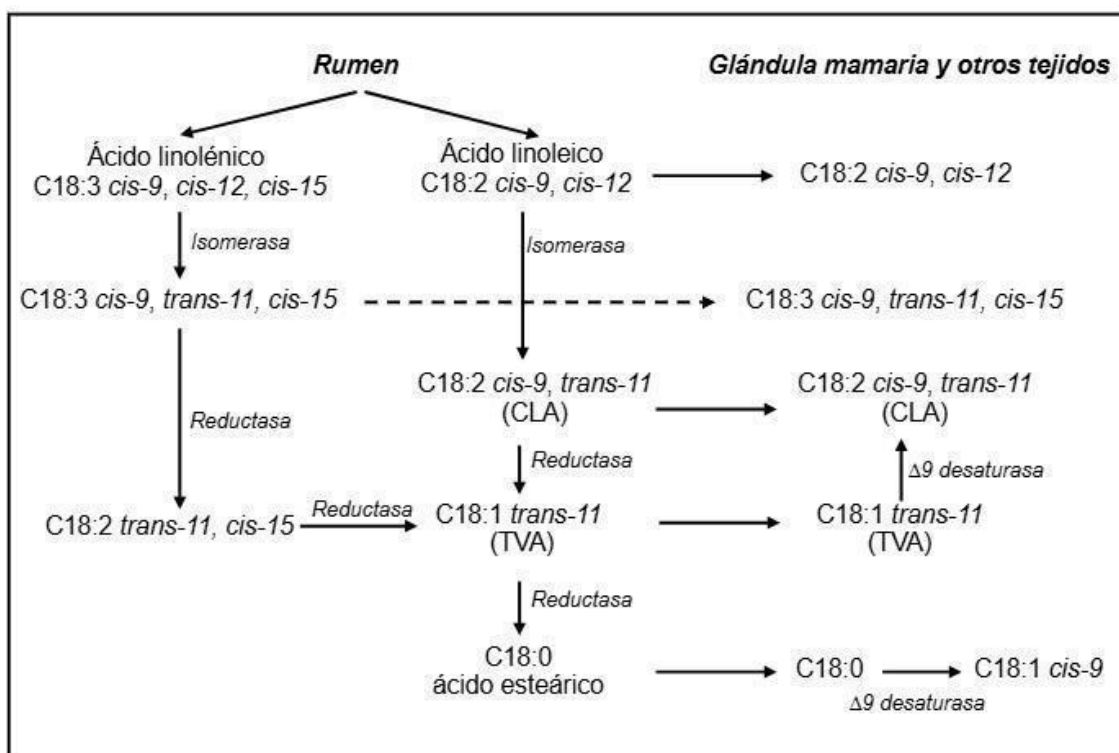
iii) Movilización de las reservas de grasa corporal propias del animal. A diferencia de lo que sucede con los lípidos absorbidos en el intestino que no van al hígado, los AG de la grasa corporal propia requieren su transformación a lipoproteínas en el hígado para su uso por otros tejidos, como por ejemplo la GM (Cajarville et al., 2003).

### 1.3.1.2. Principales ácidos grasos de la leche e índices relevantes para la salud humana en leche y productos lácteos

Los AGCR se encuentran disponibles para el consumo humano en gran medida en grasa de rumiantes. Son principalmente AGS con uno o más sustituyentes metilos como ramas de la cadena de carbonos. En general poseen una estructura iso (con el punto de ramificación en el penúltimo átomo de carbono) o anteiso (donde el punto de ramificación es el antepenúltimo carbono). Se han identificado más de 50 AGCR en grasa derivada de rumiantes, y los más abundantes en la grasa láctea son iso- y anteiso- monometil-AGCR de 14 a 17 carbonos (Taormina et al., 2020). Los AGCR mono-metilados son sintetizados por microorganismos del rumen utilizando como sustrato aminoácidos de cadena ramificada obtenida en la dieta. Los productos obtenidos son 14:0 iso y 16:0 iso (derivado de la Valina), 15:0 iso y 17:0 iso (de Leucina) y 15:0 anteiso y 17:0 anteiso (de Isoleucina). Los AGCR mono-metilados son lípidos constituyentes de las membranas bacterianas, cuando las bacterias pasan a través del duodeno es cuando los AG de su membrana son absorbidos y finalmente incorporados en la grasa de la leche y otros tejidos. Dentro de los AGCIR, los 15:0 y 17:0 son los más abundantes y representativos en la leche (Taormina et al., 2020). Adicionalmente, el ácido fitánico y el ácido pristánico son otros dos AGCR poli-metilados predominantemente sintetizados en el rumen. El precursor del ácido fitánico es un componente de la clorofila, el cual no puede ser transformado por los mamíferos, pero sí por las bacterias del rumen. El ácido pristánico se sintetiza a partir del fitánico (Taormina et al., 2020). Algunos de los efectos que tienen sobre el organismo humano (destacando el 15:0 y 17:0 iso y anteiso) son: propiedades anticancerígenas, un potencial jgastrointestinal y estudios indican que los AGCIR pueden estar involucrados directa o indirectamente en la regulación del almacenamiento de grasa en el cuerpo y pueden influir favorablemente en la sensibilidad a la insulina (Taormina et al., 2020).

Dentro de los AGPI el CLA (que incluye varios isómeros del ácido linoleico) y el TVA son ampliamente conocidos por sus beneficios a la salud humana. El AG 18:2 c9, t11, conocido como AR, constituye el 75-90% del CLA total en la leche, aunque también se encuentran cantidades menores de otros isómeros geométricos y posicionales (como el t7, c9 y t10, c12), con diferentes efectos biológicos. Existen varias vías que proveen a la leche de CLA y TVA: por un lado, en el rumen inicialmente el número de dobles enlaces del AG linoleico (18:2 c9, c12) sigue siendo el mismo cambiando la posición de la insaturación y la configuración de *cis* a *trans*, dando el AR (que es un intermediario de la BH incompleta del ácido linoleico) y pasando una parte como tal a la GM (Rico et al., 2007). Por otro lado, también en el rumen el AR, por acción de una reductasa, sufre la reducción del doble enlace *cis*-9 para obtener el AG 18:1 t11 denominado TVA, pasando una proporción como tal a la GM. Adicionalmente, también es posible obtener TVA en el rumen por medio de la BH incompleta partiendo del AG  $\alpha$ -linolénico (Martínez Marín et al., 2010). Sumado a esto, la GM es capaz de generar AR utilizando como sustrato el TVA que llega de la sangre, sufriendo una desaturación por acción de la enzima estearoil-CoenzimaA desaturasa (o  $\Delta$ 9-desaturasa) que le agrega un doble enlace (Bauman & Griinari, 2001). La Figura 3 esquematiza las transformaciones que sufre el ácido linoleico y

linolénico una vez que entra en el rumen y los tipos de AG que son transferidos a diferentes tejidos, así como la síntesis del AR que ocurre en y fuera del rumen (Bauman & Griinari, 2001).



**Figura 3** Mecanismos de síntesis del Ácido linoleico conjugado (CLA) adaptado de Daley et al., (2010). TVA: Ácido *trans*-vaccénico.

Otros AG de interés que también integran el grupo de los AGPIs son: la familia de los omega-6 (n-6) que tienen como precursor esencial el ácido linoleico y los AG de la familia omega-3 (n-3) donde el precursor esencial es el ácido  $\alpha$ -linolénico. Ambos se consideran AG esenciales ya que el ser humano no los puede sintetizar en su organismo y es necesario ingerirlos con la dieta (Palmquist, 2009). Hay que destacar que para que sean beneficiosos tienen que ser ingeridos en una determinada proporción (relación omega 6/omega 3 (n-6/n-3)) menor o igual a 4/1 (Simopoulos, 2002; 2008). Si existe una alta relación de n-6/n-3 promueve la aparición de diferentes enfermedades como por ejemplo cardiovasculares, cáncer y autoinmunes. Hay estudios que reportan que una proporción de 4/1 en la relación n-6/n-3 se asocia a prevención de enfermedades cardiovasculares disminuyendo la mortalidad. Por otro lado, una proporción menor 2/1 de relación n-6/n-3 suprime la proliferación de células rectales en pacientes con cáncer colon-rectal y disminuye la inflamación en casos de artritis reumatoidea. Por lo tanto, una relación n-6/n-3 menor a 4/1 en los alimentos sería beneficioso para la salud humana (Simopoulos, 2002; 2008).

Otra forma de evaluar el valor nutricional de la leche en relación a los AG, es a través del cálculo del IA. El valor de este índice nos da una idea del riesgo de enfermedades cardiovasculares que puede tener ese alimento. En este sentido,

un alto valor de IA se relaciona con un mayor riesgo de estas enfermedades (Ivanova & Hadzhinikolova 2015; Ulbricht & Southgate, 1991). El IA relaciona los AG 12:0; 14:0 y 16:0 con el contenido total de los AGI (Nantapo et al., 2014; O'Callaghan et al., 2016; Ulbricht & Southgate, 1991).

En el caso de las mantecas la textura es considerada un atributo importante para la evaluación de calidad, una manteca menos firme y más untable es deseada por los consumidores (O'Callaghan et al., 2016; Wright et al., 2001). En relación a esto, el índice de untabilidad (IU) es una forma de estimar la textura de esa manteca y se calcula como la relación de los AG 16:0/18:1. A mayor 18:1 el producto será menos firme y más untable debido al menor punto de fusión de los AGI en relación a los AGS, por lo que el valor de IU es inversamente proporcional a la untabilidad (O'Callaghan et al., 2016; Techeira et al., 2023).

#### 1.3.2. Alimentación de la vaca lechera, producción, calidad de leche y manteca.

La composición de AG en la grasa láctea no es constante, sino que varía y adicionalmente puede ser modificada por varios factores, por ejemplo: la genética del animal, el estadio de lactancia (Bainbridge et al., 2016), el ambiente (Grille et al., 2023), y fundamentalmente por los cambios de dieta (Barca et al., 2018). Al inicio de la lactancia, la leche contiene una mayor cantidad de AG de cadena larga en comparación con otros momentos de la lactancia. Esto se debe en parte, a que en dicho periodo las vacas lecheras se encuentran en un balance energético negativo y por lo tanto hay una mayor movilización de reservas del tejido adiposo, los que son incorporados en la leche (Artegoitia et al., 2013; Elgersma et al., 2006). Una vez culminado este periodo, la composición de la grasa de la leche está más influenciada por otros factores como la dieta, el ambiente ruminal (BH y síntesis a nivel de los microorganismos ruminales), por lo cual la composición de los AG del alimento, el tipo de alimento y las condiciones de producción afectan el contenido de AG en la leche y los productos lácteos (Elgersma et al., 2006).

En relación a los diferentes alimentos utilizados, anteriormente fue comentado que en los SM, la pastura tiene un rol predominante en la estructura de la dieta de la vaca lechera. Según Elgersma et al. (2006), el 95% de los AG de las pasturas lo constituyen el ácido linoleico, linolénico y palmítico, sin embargo, es importante considerar los diferentes factores que influyen en su concentración como la especie, la etapa de crecimiento, temperatura y luz a la que se encuentran dichas pasturas. Algunos vegetales muy frecuentemente utilizados como ingrediente de la dieta en los sistemas lecheros son gramíneas y leguminosas frescas o en forma de heno y algunas de ellas como concentrado en forma de grano. Dentro de las gramíneas más utilizadas, se destacan: avena, sorgo, moha y maíz, los cuales son ricos en AG linolénico (60-75% del total de AG) y en menor medida linoleico y palmítico (Catrileo et al., 2018). Por otro lado, algunas leguminosas muy utilizadas son: alfalfa y soja, las cuales son ricas en los mismos AG que las gramíneas previamente mencionadas (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [FEDNA], 2020) así como

también se destacan por ser una buena fuente de proteínas (Carrillo et al., 2017).

Como se mencionó anteriormente, los principales AG de la leche varían en relación a los sistemas productivos y concretamente los sistemas que incluyen pastura en la dieta tienen un efecto positivo en la concentración de algunos AG de importancia para la salud humana (Bär et al., 2020). Con respecto al contenido y perfil de AGCIR en la grasa láctea, este depende de la actividad y composición de la población microbiana del rumen (bacterias y protozoarios), los cuales son afectados por factores como la dieta y la genética (Bainbridge et al., 2016). Concretamente, la proporción de almidón y fibra tiene un efecto importante en el ecosistema microbiano. Así, una alimentación rica en fibra aumenta la población de bacterias celulolíticas las cuales contienen en sus membranas AG ramificados iso. Por otro lado, una dieta más rica en almidón limita el crecimiento de bacterias celulolíticas y promueve la proliferación de las amilolíticas, lo cual aumentaría los AG anteiso. Por ejemplo, está reportado que dietas ricas en almidón disminuyen los niveles de iso 14:0, iso 15:0 e iso 16:0 (Gómez-Cortés & De la Fuente, 2019). Por otro lado, la suplementación grasa, es decir inclusión en la dieta de semillas oleaginosas ricas en AGI, tiene un efecto en la composición microbiana del rumen, ya que las bacterias celulolíticas y gram positivas son más sensibles a los lípidos dietéticos que las amilolíticas y gram negativas (Gómez-Cortés & De la Fuente, 2019). Por último, un aumento en el concentrado en la dieta favorece la proliferación de bacterias amilolíticas (Gómez-Cortés & De la Fuente, 2019).

Con respecto a la manteca (como consecuencia de la leche utilizada en su elaboración), los sistemas de alimentación que incluyen pastura fresca en la dieta producen una grasa láctea con mayores proporciones de AGI en comparación con los productos elaborados a partir de sistemas DTM, afectando así las propiedades de la manteca. En este sentido, las mantecas con menor firmeza están relacionadas a mayores niveles de AGI (Couvreur et al., 2006; O'Callaghan et al., 2016). El sistema de alimentación también puede tener un efecto sobre el color natural de los productos, hay trabajos que reportan que tanto el ensilaje de maíz como las dietas DTM producen productos lácteos de un color más blanco que los de sistemas de alimentación pastoril, los cuales resultan en un producto de color amarillo. Cuánto más caroteno haya en la dieta (el cual se encuentra en mayor proporción en las pasturas), más coloreada/amarilla será la manteca obtenida (O'Callaghan et al., 2016). Además, según un estudio realizado por Chudy et al. (2022), los consumidores tienen preferencia por mantecas más coloreada/amarilla.

En resumen, la alimentación de la vaca lechera es clave para determinar la calidad de la leche y los productos lácteos. En este sentido una alta proporción de pastura en la estructura de la dieta de los sistemas lecheros influye positivamente en la calidad de la grasa láctea, lo que afecta positivamente la calidad nutricional tanto de la leche como de las mantecas elaboradas a partir de dicha materia prima. Por lo tanto, este trabajo pretende evaluar la estructura de la alimentación en predios lecheros comerciales de la cuenca lechera del litoral noroeste de Uruguay, relacionarlos con el perfil de AG de la leche de

tanque y cómo repercuten en la calidad nutricional de la leche y la manteca. Es interesante destacar que hasta el momento no existe información sobre los niveles de AG considerados benéficos para el consumidor en leche y mantecas provenientes de sistemas lecheros de Uruguay con diferentes niveles de inclusión de pastura en la dieta.



## **HIPÓTESIS**

La leche y manteca proveniente de establecimientos lecheros con alto nivel de inclusión de pastura fresca en la dieta (mayor a 65%) presentan un perfil de AG más saludable para los consumidores, en comparación con establecimientos con bajo nivel de inclusión de pastura fresca en la dieta (menor a 35%).

## **OBJETIVOS**

### **1.4. OBJETIVO GENERAL**

Determinar y comparar el porcentaje de ácidos grasos benéficos para la salud humana en leche y mantecas provenientes de sistemas lecheros con diferentes niveles de inclusión de pastura en la dieta.

### **1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Extracción, identificación y cuantificación del perfil de ácidos grasos de la leche mediante cromatografía de gases.
- 2) Comparar el contenido de CLA, TVA, omega 3, relación omega 6/omega 3 y ácidos grasos ramificados en leche entre establecimientos de alta y baja pastura en la dieta.
- 3) Elaborar manteca con leche proveniente de 2 establecimientos contrastantes (con y sin inclusión de pastura en la dieta).
- 4) Extracción, identificación y cuantificación del perfil de ácidos grasos de la manteca elaborada mediante cromatografía de gases.
- 5) Comparar el contenido de CLA, TVA, omega 3, relación omega 6/omega 3 y ácidos grasos ramificados de las mantecas elaboradas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.6. DISEÑO EXPERIMENTAL**

#### **1.6.1. Relevamiento del perfil de ácidos grasos en leche**

##### **1.6.1.1. Selección de predios y estructura de alimentación**

En este estudio se trabajó con muestras de leche obtenidas del proyecto: “Estudio de la variación estacional del perfil de ácidos grasos beneficiosos para la salud humana en leche de productores remitentes, su relación con el sistema productivo y con la calidad de dos productos finales: manteca y queso” presentado al llamado de Proyectos de Vinculación Universidad – Sociedad y Producción – Modalidad 2 – 2021.

En base a información relevada en visitas previas y registros obtenidos de años anteriores sobre la estructura de la alimentación y niveles de producción de leche fueron definidos los siguientes grupos:

- Alta pastura (AP): asignación mayor al 65% de pastura (pastoreo directo) durante todo el periodo experimental.
- Baja pastura (BP): asignación menor al 35% de pastura (pastoreo directo) durante todo el periodo experimental.

Con esta información fueron seleccionados 6 predios ubicados en la cuenca lechera litoral norte (Salto-Paysandú-Rio Negro): 3 de AP y 3 de BP. Se realizaron 5 visitas por predio con una frecuencia quincenal durante la estación de primavera 2021 (septiembre–noviembre). De los establecimientos relevados, 4 de los 6 tuvieron acceso a la pastura durante todo el periodo, mientras que los 2 restantes utilizaron exclusivamente DTM. La pastura estuvo compuesta por una variedad de especies: *Festuca arundinacea*, *Avena sativa*, *Medicago sativa*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium pretense*, *Trifolium repens* y en algunos casos también utilizaron “campo natural”. Los ingredientes utilizados en los establecimientos comerciales variaron durante el relevamiento según el forraje conservado disponible, así como los granos y subproductos disponibles en el mercado para el concentrado. Los forrajes conservados más utilizados fueron el ensilado de maíz o sorgo de planta entera, y el heno de gramíneas, ensilado o heno de avena, alfalfa y moha. La mezcla de concentrado fue basada en grano de maíz molido, salvado de arroz, harina de soja, raicillas de cebada, urea, levadura y minerales.

#### 1.6.1.2. Muestreo de leche

Al momento de cada muestreo se tomaron registros de cada sistema de producción referido a: manejo del rodeo, producción de leche, número de vacas en ordeño, características de la suplementación (tipo, cantidad, composición), características de la pastura (especies forrajeras), oferta de alimento y rutina de alimentación de las vacas en ordeño y ambiente productivo (caminería, corral de espera, corral de salida, corrales de alimentación).

En cada visita se extrajeron muestras de leche del total del rodeo (tanque de frío) que tuvieran leche de 2 o 4 ordeños tomadas asépticamente mediante la metodología descrita por FIL-IDF 50C:1995 completando un total de 5 muestreos (t1 a t5) generando un total de 30 de muestras (n=30). Las muestras fueron inmediatamente congeladas a -18°C y almacenadas hasta su posterior análisis. El perfil de AG fue realizado en el Área de Tecnología de Alimentos, del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, de la Facultad de Química, UdelAR.

#### 1.6.2. Relevamiento del perfil de ácidos grasos en manteca

##### 1.6.2.1. Selección de predios y estructura de la alimentación

Las mantecas fueron elaboradas a partir de las leches obtenidas de dos de los predios anteriormente mencionados, con condiciones contrastantes en relación

a la dieta (con y sin pastura) y el manejo de los animales. Concretamente se elaboró una manteca representante del tratamiento AP denominada "MIX" y otra representante del tratamiento BP denominada "C-DTM". Se realizaron 2 elaboraciones en cada predio en días diferentes.

En el caso del predio C-DTM, la DTM estuvo compuesta de grano de maíz molido y expeller de soja como concentrado, henolaje (*Medicago sativa*) como forraje conservado, urea y minerales. Para el predio MIX, el suplemento estaba compuesto de granos de maíz y raicilla de cebada. En este predio la pastura consistió en: *Trifolium pretense* y *Lolium multiflorum*.

#### 1.6.3. Muestreo de leche para manteca

En cada visita se extrajeron 60 L de leche directamente del tanque de frío en bolsas de primer uso (20 L cada una) y se trasladaron en camión refrigerado a la planta piloto en la sede Colonia La Paz de la Universidad Tecnológica (UTEC).

#### 1.6.4. Elaboración de manteca

La elaboración de la manteca se realizó en la planta piloto de lácteos de la UTEC (La Paz, Colonia, Uruguay). Para la elaboración de la manteca se utilizó 60 L de leche, obtenida como describe la sección anterior, pasteurizada (63°C, 30 min). Se desnató a 40°C en un separador de crema centrífugo de sistema abierto. La concentración de grasa de la crema separada se iba monitoreando con el equipo MilkoScan hasta alcanzar una concentración de 40–42% de grasa. La crema obtenida se batió a 44 rpm en una batidora de 5 L (Edibon España) hasta que se forman los gránulos de manteca y se separa el suero generado. Este procedimiento se repitió tres veces. A continuación, se lavaron los gránulos de manteca con 800 mL de agua a 8°C y se continuó amasando en la batidora, primero a baja velocidad durante 15 min y luego a alta velocidad durante 1 min. Finalmente, se drenó el suero formado.

#### 1.6.5. Procesamiento de las muestras (leche, manteca y alimento)

##### 1.6.5.1. Extracción de grasa en leche

Las muestras fueron descongeladas mediante baño María a 38°C por 25 min y homogeneizadas mediante agitación manual. La extracción de grasa se realizó mediante la técnica gravimétrica de Röse-Gottlieb de referencia (AOAC 905.02), la cual se resume a continuación. Se partió de 3 g de muestra, a la cual se le agregó 0,5 mL de hidróxido de amonio y se agitó con Vortex. A continuación, se agregó: 3 mL de alcohol 95%, 7,5 mL de éter dietílico y 7,5 mL de éter de petróleo, incluyendo un paso de 1 min de agitación por Vortex después de cada agregado y posterior agitación final de 45 min con agitador magnético. Esa suspensión se centrifugó a 3500 rpm durante 10 min. La fase etérea superior se trasvasó con pipeta a un tubo nuevo. A continuación, al pellet del tubo inicial, se le agregó 9 mL de mezcla dietil éter- éter de petróleo (1/1 v/v), se agitó con Vortex 1 min y centrifugó a 3500 rpm por 10 min. Este nuevo sobrenadante se agregó

al tubo con el sobrenadante previamente recolectado. Este paso se repitió una vez más. Finalmente, se eliminó el solvente venteando con Nitrógeno hasta masa constante. Cada muestra se procesó por triplicado y se utilizó el valor promedio de las mismas.

#### 1.6.5.2. Determinación del perfil de ácidos grasos en leche

La determinación de la composición de AG de la leche se realizó por cromatografía de gases, en el Área Tecnología de Alimentos, del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos (según técnica AOCS Ce 1c-89, AOCS Ce 1f-96).

Previo a la inyección de muestras al cromatógrafo, se obtuvieron los ésteres metílicos. Para esto se utilizó entre 70 a 80 mg del material graso obtenido por el procedimiento de la sección 1.6.5.1. A dicha muestra se le agregó en pasos sucesivos: 2 mL de heptano (o hexano) y 0,1 mL de KOH metanólica 2 N y se agitó magnéticamente durante 5 min. Toda la preparación se trasvasó a un tubo, se agregó una punta de espátula de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidro y se centrifugó por 10 min a 3500 rpm. El sobrenadante se trasvasó a otro tubo para su análisis posterior por cromatografía.

El análisis del perfil en AG se realizó utilizando un cromatógrafo de gases marca Shimadzu-2014, equipado con FID y provisto con una columna capilar Supelco SP-2560 de 100 m. El programa de temperatura que se utilizó fue el siguiente: temperatura inicial de 90°C durante 2 min, aumentó hasta 175°C con una velocidad de 20°C/min y permanencia durante 35 min a esa temperatura final; elevación de temperatura desde 175°C hasta 240°C con una velocidad de 15°C/min y permanencia a esa temperatura final durante 25 min.

#### 1.6.5.3. Extracción de ácidos grasos y determinación del perfil de ácidos grasos en manteca

La extracción de AG de las muestras de manteca y el posterior análisis para determinar la composición de AG se realizó igual que lo descrito anteriormente para las muestras de leche (secciones 1.6.5.1 y 1.6.5.2), a partir de 3 g de manteca.

#### 1.6.5.4. Determinación del perfil de ácidos grasos en alimento (suplementos y pastura)

La extracción de grasa se realizó mediante la técnica de Hara & Radin (1978) la cual se resume a continuación. Se preparó una mezcla de hexano-isopropanol (3:2 v/v). Se pesó 1 g de muestra en un tubo de tapa rosca y se le agregó 20 mL de la mezcla hexano-isopropanol. Se agitó en Vortex durante 2 min y luego con agitador magnético por 90 min. La suspensión se centrifugó a 4000 rpm por 10 min y la fase líquida se trasvasó a un balón con pipeta Pasteur. El remanente de muestra en el tubo se lavó 2 veces adicionales con 10 mL de la mezcla hexano:isopropanol. Se agitó en Vortex y centrifugó a 4000 rpm por 10 min después de cada lavado. La fase líquida de cada lavado se agregó al contenido del balón. Finalmente, se eliminó el solvente mediante rotaevaporación hasta

masa constante. Cada muestra se analizó por duplicado y se utilizó el valor promedio de las mismas. La determinación del perfil de AG se realizó mediante la misma metodología que en leche (descrito en el punto 1.6.5.2).

### **1.7. Perfil de ácidos grasos en el alimento (pastura y suplemento) en sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta**

Las Tablas 2-4 muestran el perfil de AG determinados en el alimento que se utilizó en los establecimientos con tratamiento AP y BP.

Tabla 2 Porcentaje de Ácidos Grasos Saturados (en g AG/100 g de grasa) en alimento (pastura y suplemento) en sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta

| Ácidos grasos | AP           |              | BP           |              |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|               | Pastura      | Suplemento   | Pastura      | Suplemento   |
| 10:0          | 0,36 ± 0,2   | 0,11 ± 0,03  | 0,82 ± 0,44  | 0,41 ± 0,22  |
| 12:0          | 0,74 ± 0,21  | 0,14 ± 0,05  | 1,3 ± 0,55   | 0,61 ± 0,27  |
| 14:0          | 2,09 ± 0,79  | 0,5 ± 0,15   | 4,62 ± 1,53  | 1,69 ± 0,7   |
| 16:0          | 18,25 ± 2,91 | 15,23 ± 2,19 | 24,82 ± 2,36 | 16,49 ± 1,73 |
| 17:0          | 0,36 ± 0,27  | 0,11 ± 0,03  | 0,44 ± 0,05  | 0,13 ± 0,12  |
| 18:0          | 3,1 ± 0,97   | 2,06 ± 0,46  | 5,24 ± 0,33  | 3,49 ± 0,42  |
| 20:0          | 0,79 ± 0,39  | 0,43 ± 0,05  | 0,58 ± 0,11  | 0,49 ± 0,14  |
| 22:0          | 0,51 ± 0,12  | 0,24 ± 0,06  | 0,54 ± 0,05  | 0,33 ± 0,14  |
| 24:0          | 0,47 ± 0,12  | 0,3 ± 0,08   | 0,32 ± 0,16  | 0,27 ± 0,12  |
| AGS           | 27,21 ± 5,52 | 19,17 ± 2,64 | 40,22 ± 7,28 | 24,73 ± 3,65 |

AGS: Ácidos Grasos Saturados, AP: alta pastura (asignación mayor al 65% de pastura), BP: baja pastura (asignación menor al 35% de pasturas).

Tabla 3 Porcentaje de Ácidos Grasos Monoinsaturados (AGMI) (en g AG/100 g de grasa) en alimento (pastura y suplemento) en sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta

| Ácidos grasos     | AP          |              | BP           |              |
|-------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
|                   | Pastura     | Suplemento   | Pastura      | Suplemento   |
| 16:1 <i>cis</i>   | 0,37 ± 0,19 | 0,17 ± 0,06  | 0,6 ± 0,27   | 0,33 ± 0,08  |
| 18:1 <i>trans</i> | 0,25 ± 0,13 | 0,05 ± 0,08  | 0,52 ± 0,16  | 0,12 ± 0,13  |
| 18:1 <i>cis</i>   | 7,21 ± 4,19 | 28,81 ± 6,01 | 11,44 ± 1,15 | 22,8 ± 2,76  |
| 20:1              | 0,04 ± 0,08 | 0,39 ± 0,14  | 0 ± 0        | 0,11 ± 0,09  |
| AGMI <i>cis</i>   | 7,63 ± 4,31 | 29,37 ± 5,89 | 12,4 ± 1,37  | 23,25 ± 2,76 |

AGMI: Ácidos Grasos Monoinsaturados, AP: alta pastura (asignación mayor al 65% de pastura), BP: baja pastura (asignación menor al 35% de pasturas).

Tabla 4 Porcentaje de Ácidos Grasos Poliinsaturados (en g AG/100 g de grasa) en alimento (pastura y suplemento) en sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta

| Ácidos grasos     | AP           |              | BP            |              |
|-------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
|                   | Pastura      | Suplemento   | Pastura       | Suplemento   |
| 18:2 <i>trans</i> | 1,03 ± 1     | 0 ± 0        | 0,58 ± 0,11   | 0,07 ± 0,1   |
| 18:2 <i>cis</i>   | 13,41 ± 5,05 | 46,43 ± 4,86 | 10,18 ± 0,38  | 41,37 ± 4,35 |
| 18:3 <i>cis</i>   | 42,42 ± 12,9 | 3,41 ± 1,66  | 31,72 ± 11,61 | 8,36 ± 4,11  |
| AGPI <i>cis</i>   | 55,83 ± 9,16 | 49,84 ± 5,56 | 41,9 ± 11,23  | 49,73 ± 3,95 |

AGPI: Ácidos Grasos Poliinsaturados, AP: alta pastura (asignación mayor al 65% de pastura), BP: baja pastura (asignación menor al 35% de pasturas).

### 1.8. Perfil de ácidos grasos del alimento de predios en los que se elaboró manteca: MIX y C-DTM

La Tabla 5 muestra el perfil de AG de los alimentos provenientes de los predios: MIX y C-DTM al momento de la elaboración de mantecas.

Tabla 5 Porcentaje de Ácidos Grasos (en g/100g de grasa) en el alimento de los establecimientos seleccionados para elaborar manteca: MIX y C-DTM

| Ácidos grasos (g/100 de grasa) | DTM (proveniente predio C-DTM) | Pastura y suplemento. (proveniente predio MIX) |
|--------------------------------|--------------------------------|--|
| 16:0                           | 17,0 ± 2,1                     | 18,5 ± 2,5                                     |
| 18:0                           | 3,5 ± 0,3                      | 3,7 ± 0,7                                      |
| 18:1 <i>cis</i>                | 18,2 ± 1,9                     | 11,3 ± 5,1                                     |
| 18:2 <i>cis</i>                | 34,6 ± 2,3                     | 21,7 ± 4,9                                     |
| 18:3 n-3 <i>cis</i>            | 15,1 ± 2,8                     | 29,2 ± 7,2                                     |

AG=ácidos grasos, DTM: dieta total mezclada MIX: sistema mixto (pastura y suplementación), C-DTM: sistema confinado (sin pastura).

### 1.9. Cálculo de índices nutricionales de importancia en lácteos

El índice de aterogenicidad (IA) se calculó utilizando, según lo descrito por Ulbricht & Southgate (1991), la siguiente fórmula (tanto para leche como para manteca).

$$IA = (C12:0 + (4 \cdot C14:0) + C16:0) / \sum AGMI + \sum AGPI$$

Dónde C12:0 es AG láurico, C14:0 es AG mirístico, C16:0 es AG palmítico. AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados y AGPI; Ácidos grasos poliinsaturados.

El índice de untabilidad (IU) se calculó como la relación de los AG 16:0/18:1, según lo propuesto por O'Callaghan et al. (2016).

### 1.10. Análisis estadístico

El contenido de grasa (%), perfil de AG (%) e índices de calidad nutricional (n-6/n-3 e IA) se analizaron con ANOVA para medidas repetidas utilizando PROC MIXED de SAS (SAS Studio, Shinjuku, Tokio).

El modelo estadístico para el contenido de grasa, perfil de AG e índices de calidad nutricional incluyó los tratamientos (AP y BP), tiempos de muestreo (t1, t2, t3, t4, t5) e interacciones entre los tratamientos y tiempo como efectos fijos, y el establecimiento fue incluido como efecto aleatorio dentro de cada tratamiento. Las comparaciones post hoc se realizaron con la prueba de Tukey-Kramer. Los resultados se consideraron significativos con un  $p < 0,05$  y tendencias entre 0,05 y 0,10. Los datos se presentan como media ± EEM (error estándar de la media). Para las variables de las mantecas, el perfil de AG e índices de calidad nutricional incluyó los tratamientos MIX y C-DTM como efecto fijo, se realizaron análisis

utilizando ANOVA de una vía, seguido de pruebas post hoc de Tukey, para comparar los dos predios contrastantes. Los resultados se consideraron significativos con un  $p \leq 0,05$ . Los datos se presentan como media  $\pm$  EEM (error estándar de la media).

## **RESULTADOS**

### **2.1 Porcentaje de grasa total y perfil de ácidos grasos en leche**

El contenido de grasa del tratamiento AP fue de  $3,71 \pm 0,06\%$  mientras que el de BP de  $3,78 \pm 0,06\%$ . No hubo efecto del tratamiento, tiempo ni interacción tratamiento-tiempo para esta variable.

Las Tablas 6-9 muestran el perfil de AG (PAG) de la leche obtenidos en los dos sistemas: AP y BP en los 5 tiempos estudiados (t1 al t5).

Con respecto al contenido total de AGS no hubo efecto del tratamiento, tiempo, ni interacción tratamiento-tiempo (Tabla 6). Sin embargo, al observar los AG individuales vemos que el 6:0 (caproico) mostró efecto del tiempo e interacción tratamiento-tiempo (siendo mayor en BP en el tiempo 5 en comparación con AP) (Tabla 6).

Tabla 6 Ácidos Grasos Saturados (en g AG/100 g de grasa) en leche de sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta en los distintos tiempos de muestreo.



|               |    |                          | t (g AG/100 g de grasa) |       |       |       |                   | p-valor |    |       |       |
|---------------|----|--------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------------------|---------|----|-------|-------|
| Ácidos grasos | T  | tp (g AG/100 g de grasa) | t1                      | t2    | t3    | t4    | t5                | EEM     | T  | t     | T*t   |
| 4:00          | AP | 3,03                     | 2,92                    | 3,54  | 3,43  | 2,51  | 2,76              | 0,09    | ns | 0,022 | ns    |
|               | BP | 2,86                     | 2,58                    | 3,18  | 2,61  | 2,55  | 3,37              |         |    |       |       |
| 6:00          | AP | 1,82                     | 1,93                    | 2,12  | 1,91  | 1,49  | 1,63 <sup>a</sup> | 0,05    | ns | 0,050 | 0,045 |
|               | BP | 1,86                     | 1,73                    | 2,04  | 1,64  | 1,70  | 2,21 <sup>b</sup> |         |    |       |       |
| 8:00          | AP | 1,06                     | 1,18                    | 1,23  | 1,01  | 0,87  | 1,00              | 0,05    | ns | ns    | ns    |
|               | BP | 1,13                     | 1,10                    | 1,19  | 1,00  | 1,04  | 1,34              |         |    |       |       |
| 10:00         | AP | 2,37                     | 2,77                    | 2,78  | 2,15  | 2,04  | 2,12              | 0,16    | ns | ns    | ns    |
|               | BP | 2,64                     | 2,64                    | 2,71  | 2,41  | 2,52  | 2,89              |         |    |       |       |
| 11:00         | AP | 0,30                     | 0,35                    | 0,34  | 0,26  | 0,26  | 0,28              | 0,02    | ns | ns    | ns    |
|               | BP | 0,32                     | 0,30                    | 0,33  | 0,29  | 0,32  | 0,39              |         |    |       |       |
| 12:00         | AP | 2,78                     | 3,26                    | 3,26  | 2,47  | 2,50  | 2,49              | 0,10    | ns | ns    | ns    |
|               | BP | 3,08                     | 3,07                    | 3,19  | 2,91  | 2,89  | 3,32              |         |    |       |       |
| 14:00         | AP | 10,61                    | 11,56                   | 11,50 | 10,08 | 10,20 | 9,72              | 0,42    | ns | ns    | ns    |
|               | BP | 10,86                    | 10,84                   | 10,88 | 10,75 | 10,66 | 11,17             |         |    |       |       |
| 15:00         | AP | 1,37                     | 1,42                    | 1,36  | 1,35  | 1,34  | 1,38              | 0,14    | ns | ns    | ns    |
|               | BP | 1,21                     | 1,23                    | 1,19  | 1,19  | 1,13  | 1,29              |         |    |       |       |
| 16:00         | AP | 29,46                    | 29,75                   | 29,69 | 29,14 | 30,00 | 28,71             | 1,00    | ns | ns    | ns    |
|               | BP | 29,94                    | 29,30                   | 29,65 | 30,29 | 29,73 | 30,71             |         |    |       |       |
| 17:00         | AP | 0,82                     | 0,79                    | 0,81  | 0,82  | 0,83  | 0,87              | 0,06    | ns | ns    | ns    |
|               | BP | 0,69                     | 0,71                    | 0,69  | 0,69  | 0,65  | 0,71              |         |    |       |       |
| 18:00         | AP | 10,08                    | 9,27                    | 9,73  | 10,72 | 10,24 | 10,42             | 0,45    | ns | ns    | ns    |
|               | BP | 10,10                    | 11,03                   | 10,49 | 9,92  | 10,12 | 8,92              |         |    |       |       |
| Total AGS     | AP | 63,88                    | 65,36                   | 66,46 | 63,55 | 62,45 | 61,59             | 1,08    | ns | ns    | ns    |
|               | BP | 64,91                    | 64,71                   | 66,01 | 63,87 | 63,49 | 66,46             |         |    |       |       |

AGS: Ácidos Grasos Saturados. AP: alta pastura (asignación mayor al 65% de pastura), BP: baja pastura (asignación menor al 35% de pasturas). T: tratamientos; t: tiempos; tp: promedio de los 5 tiempos. ns: no significativo. Letras en superíndice distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). EEM: error estándar de la media.

En el caso de los AGMI totales en leche no se observó interacción tratamiento tiempo, ni hubo efecto del tratamiento. Al observar los AG individuales el tratamiento AP tuvo mayor porcentaje de TVA que el BP (Tabla 7).

Tabla 7 Ácidos Grasos Monoinsaturados (en g AG/100 g de grasa) en leche de sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta en los distintos tiempos de muestreo

|  |    | t (g AG/100 g de grasa)  |       |       |       |       |       |      | p-valor |    |     |
|--|----|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------|----|-----|
| Ácidos grasos                            | T  | tp (g AG/100 g de grasa) | t1    | t2    | t3    | t4    | t5    | EEM  | T       | t  | T*t |
| 14:1 <i>cis</i> ( <i>cis</i> 9)          | AP | 0,85                     | 0,99  | 0,92  | 0,79  | 0,81  | 0,76  | 0,05 | ns      | ns | ns  |
|  | BP | 0,92                     | 0,89  | 0,88  | 0,92  | 0,84  | 1,05  |      |         |    |     |
| 16:1 <i>cis</i> ( <i>cis</i> 9)          | AP | 1,29                     | 1,34  | 1,27  | 1,28  | 1,35  | 1,23  | 0,12 | ns      | ns | ns  |
|  | BP | 1,36                     | 1,39  | 1,31  | 1,41  | 1,23  | 1,44  |      |         |    |     |
| 18:1 elaidico ( <i>trans</i> 9)          | AP | 0,23                     | 0,26  | 0,17  | 0,22  | 0,26  | 0,26  | 0,04 | ns      | ns | ns  |
|  | BP | 0,34                     | 0,32  | 0,34  | 0,39  | 0,41  | 0,25  |      |         |    |     |
| 18:1 TVA                                 | AP | 4,11 <sup>a</sup>        | 4,14  | 3,84  | 4,22  | 4,24  | 4,10  | 0,28 | 0,012   | ns | ns  |
|  | BP | 2,36 <sup>b</sup>        | 2,28  | 2,35  | 2,58  | 2,38  | 2,20  |      |         |    |     |
| 18:1 <i>cis</i> (oleico) ( <i>cis</i> 9) | AP | 19,68                    | 18,00 | 18,04 | 19,97 | 21,69 | 20,68 | 0,73 | ns      | ns | ns  |
|  | BP | 21,04                    | 21,32 | 20,54 | 21,81 | 22,23 | 19,29 |      |         |    |     |
| Total AGMI                               | AP | 21,82                    | 20,34 | 20,23 | 22,04 | 23,84 | 22,67 | 0,68 | ns      | ns | ns  |
|  | BP | 23,32                    | 23,61 | 22,73 | 24,14 | 24,30 | 21,79 |      |         |    |     |

AGMI: Ácidos Grasos Monoinsaturados. AP: alta pastura (asignación mayor al 65% de pastura), BP: baja pastura (asignación menor al 35% de pasturas). T: tratamientos; t: tiempos; tp: promedio de los 5 tiempos. ns: no significativo. Letras en superíndice distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). TVA: Ácido *trans*-vaccénico. EEM: error estándar de la media.

Con respecto al contenido de AGPI, no hubo efecto del tiempo ni interacción tratamiento-tiempo. Sin embargo, en algunos AG individuales hubo efecto del tratamiento. Los predios AP tuvieron mayor porcentaje de 18:2 *trans*9 *trans*11, CLA:18:2 *cis*9 *trans*11 (AR) y 18:3 *cis*9 *cis*12 *cis*15, en comparación con BP (Tabla 8).

Tabla 8 Ácidos Grasos Poliinsaturados, en g AG/100 g de grasa en leche de sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta en los distintos tiempos de muestreo

| Ácidos grasos               | T  | tp (g AG/100 g de grasa) | t (g AG/100 g de grasa) |      |      |      |      | EEM  | p-valor |    |     |
|-----------------------------|----|--------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|---------|----|-----|
|                             |    |                          | t1                      | t2   | t3   | t4   | t5   |      | T       | t  | T*t |
| 18:2 <i>trans</i>           | AP | 1,12 <sup>a</sup>        | 1,07                    | 1,05 | 1,09 | 1,19 | 1,19 | 0,04 | 0,003   | ns | ns  |
|                             | BP | 0,89 <sup>b</sup>        | 0,79                    | 0,79 | 1,17 | 0,86 | 0,82 |      |         |    |     |
| 18:2 <i>cis</i> (linoleico) | AP | 1,72                     | 1,44                    | 1,54 | 1,91 | 1,80 | 1,91 | 0,32 | ns      | ns | ns  |
|                             | BP | 2,54                     | 2,42                    | 2,53 | 2,55 | 2,64 | 2,58 |      |         |    |     |
| 18:2 CLA (AR)               | AP | 1,65 <sup>a</sup>        | 1,86                    | 1,51 | 1,58 | 1,70 | 1,62 | 0,11 | 0,014   | ns | ns  |
|                             | BP | 0,89 <sup>b</sup>        | 0,79                    | 0,83 | 0,96 | 0,93 | 0,94 |      |         |    |     |
| 18:3 n3 (linolénico)        | AP | 0,89 <sup>a</sup>        | 0,82                    | 0,89 | 0,97 | 0,87 | 0,90 | 0,08 | 0,033   | ns | ns  |
|                             | BP | 0,54 <sup>b</sup>        | 0,36                    | 0,50 | 0,63 | 0,60 | 0,63 |      |         |    |     |
| Total AGPI                  | AP | 2,61                     | 2,27                    | 2,43 | 2,88 | 2,67 | 2,82 | 0,24 | ns      | ns | ns  |
|                             | BP | 3,09                     | 2,78                    | 3,03 | 3,17 | 3,24 | 3,21 |      |         |    |     |

AGPI: Ácidos Grasos Poliinsaturados, AP: alta pastura (asignación mayor al 65% de pastura), BP: baja pastura (asignación menor al 35% de pasturas). T: tratamientos; t: tiempos; tp: promedio de los 5 tiempos. ns: no significativo. Letras en superíndice distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). EEM: error estándar de la media.

Con respecto al contenido de AGCR totales no hubo efecto del tiempo ni interacción tratamiento tiempo. Sin embargo, el tratamiento AP tuvo mayores niveles de AGCR en comparación con el tratamiento BP (Tabla 9). En particular, los AG 15:0 iso, 15:0 anteiso, 16:0 iso, 17:0 iso y 18:0 iso fueron mayores en AP en comparación con BP (Tabla 9).

Tabla 9 Ácidos Grasos Ramificados, en g AG/100 g de grasa en leche de sistemas lecheros con alta y baja inclusión de pastura en la dieta en los distintos tiempos de muestreo.

| Ácidos grasos | T  | tp (g AG/100 g de grasa) | t (g AG/100 g de grasa) |       |       |       |       | p-valor |       |       |     |
|---------------|----|--------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-----|
|               |    |                          | t1                      | t2    | t3    | t4    | t5    | EEM     | T     | t     | T*t |
| 14:0 iso      | AP | 0,17                     | 0,16                    | 0,15  | 0,18  | 0,17  | 0,19  | 0,01    | ns    | ns    | ns  |
|               | BP | 0,13                     | 0,14                    | 0,12  | 0,13  | 0,11  | 0,13  |         |       |       |     |
| 15:0 iso      | AP | 0,36 <sup>a</sup>        | 0,36                    | 0,35  | 0,36  | 0,33  | 0,37  | 0,02    | 0,029 | ns    | ns  |
|               | BP | 0,28 <sup>b</sup>        | 0,30                    | 0,32  | 0,25  | 0,24  | 0,27  |         |       |       |     |
| 15:0 anteiso  | AP | 0,69 <sup>a</sup>        | 0,74                    | 0,71  | 0,70  | 0,64  | 0,68  | 0,03    | 0,008 | ns    | ns  |
|               | BP | 0,48 <sup>b</sup>        | 0,49                    | 0,48  | 0,48  | 0,46  | 0,51  |         |       |       |     |
| 16:0 iso      | AP | 0,34 <sup>a</sup>        | 0,35                    | 0,34  | 0,34  | 0,33  | 0,35  | 0,01    | 0,003 | ns    | ns  |
|               | BP | 0,30 <sup>b</sup>        | 0,33                    | 0,29  | 0,30  | 0,29  | 0,31  |         |       |       |     |
| 17:0 iso      | AP | 0,43 <sup>a</sup>        | 0,37                    | 0,46  | 0,45  | 0,44  | 0,44  | 0,02    | 0,005 | ns    | ns  |
|               | BP | 0,34 <sup>b</sup>        | 0,36                    | 0,35  | 0,34  | 0,33  | 0,33  |         |       |       |     |
| 17:0 anteiso  | AP | 0,53                     | 0,55                    | 0,53  | 0,52  | 0,50  | 0,55  | 0,03    | ns    | ns    | ns  |
|               | BP | 0,44                     | 0,46                    | 0,43  | 0,44  | 0,43  | 0,47  |         |       |       |     |
| 18:0 iso      | AP | 0,054 <sup>a</sup>       | 0,057                   | 0,053 | 0,052 | 0,052 | 0,057 | 0,001   | 0,025 | 0,040 | ns  |
|               | BP | 0,048 <sup>b</sup>       | 0,051                   | 0,048 | 0,046 | 0,046 | 0,050 |         |       |       |     |
| Total AGCR    | AP | 2,57 <sup>a</sup>        | 2,58                    | 2,59  | 2,59  | 2,46  | 2,64  | 0,09    | 0,006 | ns    | ns  |
|               | BP | 2,02 <sup>b</sup>        | 2,13                    | 2,03  | 1,98  | 1,91  | 2,06  |         |       |       |     |

AGCR: Ácidos Grasos de Cadena Ramificada, AP: alta pastura (asignación mayor al 65% de pastura) , BP: baja pastura (asignación menor al 35% de pasturas). T: tratamientos; t: tiempos; tp: promedio de los 5 tiempos. ns: no significativo. Letras en superíndice distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). EEM: error estándar de la media.

No hubo diferencias entre tratamientos en los indicadores de calidad nutricional de la leche (relación n-6/n-3 ni IA). Los valores obtenidos para la relación n-6/n-

3 fueron de 5/1 en el tratamiento BP mientras que el AP presentó valores de 2/1. Con respecto al IA los valores fueron de  $3,1 \pm 0,2$  y  $2,9 \pm 0,2$  para AP y BP, respectivamente.

## 2.2 Perfil de ácidos grasos de las mantecas

Las Tablas 10-13 muestran el porcentaje de AG en mantecas elaboradas a partir de los 2 predios contrastantes, con y sin presencia de pastura en la dieta (MIX y C-DTM).

Con respecto a los AGS el porcentaje de AG 11:0 y 12:0 de la manteca del tratamiento MIX fue mayor en comparación con las mantecas de C-DTM. Por otro lado, el contenido de AG de las leches de la cual provienen las mantecas (leche-materia prima o L-MP) no presentó diferencias entre los dos tratamientos, ni en el total de AGS ni en ningún AG individual (Tabla 10).

Tabla 10 Ácidos Grasos Saturados en manteca (en g AG/100 g de grasa) y leche-materia prima (L-MP), proveniente de predios C-DTM y MIX en primavera

| Ácidos grasos | Manteca           |                   |       |         | L-MP  |       |      |         |
|---------------|-------------------|-------------------|-------|---------|-------|-------|------|---------|
|               | MIX               | C-DTM             | EEM   | p-valor | MIX   | C-DTM | EEM  | p-valor |
| 4:0           | 3,84              | 2,61              | 0,58  | ns      | 2,36  | 2,97  | 0,44 | ns      |
| 6:0           | 2,33              | 1,7               | 0,25  | ns      | 1,59  | 1,82  | 0,27 | ns      |
| 8:0           | 1,28              | 1,87              | 0,57  | ns      | 1,04  | 1,03  | 0,13 | ns      |
| 10:0          | 2,8               | 2,78              | 0,25  | ns      | 2,52  | 2,33  | 0,11 | ns      |
| 11:0          | 0,34 <sup>a</sup> | 0,32 <sup>b</sup> | 0,002 | 0,040   | 0,33  | 0,34  | 0,01 | ns      |
| 12:0          | 3,2 <sup>a</sup>  | 3,0 <sup>b</sup>  | 0,01  | 0,006   | 3,13  | 2,65  | 0,25 | ns      |
| 14:0          | 11,37             | 11,06             | 0,17  | ns      | 11,56 | 10,14 | 0,43 | ns      |
| 15:0          | 1,55 <sup>b</sup> | 1,62 <sup>a</sup> | 0,01  | 0,025   | 1,50  | 1,60  | 0,09 | ns      |
| 16:0          | 29,79             | 31,14             | 0,45  | ns      | 33,25 | 30,99 | 1,94 | ns      |
| 17:0          | 0,94 <sup>b</sup> | 1,0 <sup>a</sup>  | 0,01  | 0,030   | 0,88  | 0,86  | 0,04 | ns      |
| 18:0          | 9,06              | 8,97              | 0,26  | ns      | 8,30  | 9,06  | 1,27 | ns      |
| 20:0          | 0,18              | 0,18              | 0,003 | ns      | 0,18  | 0,17  | 0,03 | ns      |
| Total AGS     | 66,67             | 66,25             | 1,40  | ns      | 66,65 | 63,95 | 2,01 | ns      |

AGS: Ácidos Grasos Saturados, MIX: sistema mixto (pastura y suplementación), C-DTM: sistema confinado (sin pastura). ns: no significativo. Los AG son expresados en g de AG/100 g de grasa. Letras en superíndice distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). EEM: error estándar de la media.

El total de AGMI en L-MP y en manteca no mostró diferencias entre tratamiento MIX y C-DTM. Sin embargo, sí hubo diferencias en algunos AG individuales: por un lado, en la manteca los AG 14:1, 16:1, y 18:1 *cis* fueron mayores en el tratamiento C-DTM en comparación con MIX y por otro lado, tanto en L-MP como en manteca el AG 18:1 TVA fue mayor en MIX en comparación con C-DTM (Tabla 11).

Tabla 11 Ácidos Grasos Monoinsaturados en manteca (en g AG/100 g de grasa) y leche-materia prima (L-MP), proveniente de predios C-DTM y MIX en primavera

| Ácidos grasos                   | Manteca            |                    |      |         | L-MP              |                   |      |         |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|------|---------|-------------------|-------------------|------|---------|
|                                 | MIX                | C-DTM              | EEM  | p-valor | MIX               | C-DTM             | EEM  | p-valor |
| 14:1                            | 0,93 <sup>b</sup>  | 1,03 <sup>a</sup>  | 0,01 | 0,027   | 0,96              | 0,95              | 0,14 | ns      |
| 16:1                            | 1,34 <sup>b</sup>  | 1,71 <sup>a</sup>  | 0,03 | 0,016   | 1,49              | 1,57              | 0,17 | ns      |
| 18:1 ( <i>trans</i> 9)          | 0,22               | 0,19               | 0,03 | ns      | 0,20              | 0,29              | 0,04 | ns      |
| 18:1 TVA ( <i>trans</i> 11)     | 3,22 <sup>a</sup>  | 1,89 <sup>b</sup>  | 0,15 | 0,024   | 3,65 <sup>a</sup> | 2,33 <sup>b</sup> | 0,11 | 0,015   |
| 18:1 <i>cis</i> ( <i>cis</i> 9) | 17,65 <sup>b</sup> | 19,95 <sup>a</sup> | 0,35 | 0,043   | 17,33             | 20,80             | 1,85 | ns      |
| Total AGMI <i>cis</i>           | 19,92 <sup>b</sup> | 22,68 <sup>a</sup> | 0,39 | 0,037   | 19,78             | 23,31             | 1,54 | ns      |

AGMI: Ácidos Grasos Monoinsaturados, TVA: Ácido *trans*-vaccénico MIX: sistema mixto (pastura y suplementación) C-DTM: sistema confinado (sin pastura) ns: no significativo. Los AG son expresados en g de AG/100g de grasa. Letras en superíndice distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). EEM: error estándar de la media.

En relación a los AGPI se puede destacar que en manteca los AG 18:2 *cis* y CLA del tratamiento MIX, se encuentra en cantidades significativamente mayores comparados con el C-DTM (Tabla 12).

Tabla 12 Ácidos Grasos Poliinsaturados en manteca (en g AG/100 g de grasa) y leche-materia prima (L-MP), proveniente de predios C-DTM y MIX en primavera

| Ácidos grasos   | Manteca           |                   |      |         | L-MP              |                   |      |         |
|---|-------------------|-------------------|------|---------|-------------------|-------------------|------|---------|
|   | MIX               | C-DTM             | EEM  | p-valor | MIX               | C-DTM             | EEM  | p-valor |
| 18:2 <i>trans</i> ( <i>trans</i> 9 <i>trans</i> 11)           | 0,81              | 0,9               | 0,08 | ns      | 1,10              | 0,88              | 0,16 | ns      |
| 18:2 <i>cis</i> ( <i>cis</i> 9 <i>cis</i> 12)                 | 2,00 <sup>a</sup> | 1,77 <sup>b</sup> | 0,02 | 0,010   | 1,90              | 1,53              | 0,15 | ns      |
| 18:3 <i>cis</i> ( <i>cis</i> 9, <i>cis</i> 12, <i>cis</i> 15) | 1,09              | 1,02              | 0,07 | ns      | 1,07 <sup>a</sup> | 0,96 <sup>b</sup> | 0,02 | 0,050   |
| CLA (18:2 <i>cis</i> 9 <i>trans</i> 11)                       | 1,44 <sup>a</sup> | 0,98 <sup>b</sup> | 0,07 | 0,042   | 1,57              | 1,21              | 0,12 | ns      |
| Total AGPI <i>cis</i>   | 3,1               | 2,78              | 0,08 | ns      | 2,97              | 2,50              | 0,15 | ns      |

AGPI: ácidos grasos poliinsaturados, ns: no significativo. CLA: ácido linoleico conjugado MIX: sistema mixto (pastura y suplementación), C-DTM: sistema confinado (sin pastura). Los AG son expresados en g de AG/100 g de grasa. Letras en superíndice distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). EEM: error estándar de la media.

Por otro lado, tanto para L-PM como para manteca no se observó diferencias entre los tratamientos en el total de AGCR (Tabla 13). Sin embargo, los AG 14:0 iso y 15:0 anteiso de la manteca del tratamiento MIX fueron mayores en comparación con los de C-DTM. Por su parte, el AG 17:0 anteiso muestra una tendencia inversa a los anteriores, mayor cantidad en el tratamiento C-DTM en comparación con el tratamiento MIX (Tabla 13).

Tabla 13 Ácidos Grasos Ramificados en manteca (en g AG/100 g de grasa) y leche-materia prima (L-MP), provenientes de predios C-DTM y MIX en primavera

| Ácidos grasos | Manteca           |                   |       |         | L-MP |       |       |         |
|---------------|-------------------|-------------------|-------|---------|------|-------|-------|---------|
|               | MIX               | C-DTM             | EEM   | p-valor | MIX  | C-DTM | EEM   | p-valor |
| 14:0 iso      | 0,18 <sup>a</sup> | 0,16 <sup>b</sup> | 0,002 | 0,046   | 0,14 | 0,15  | 0,02  | ns      |
| 15:0 iso      | 0,36              | 0,4               | 0,01  | ns      | 0,32 | 0,31  | 0,03  | ns      |
| 15:0 anteiso  | 0,76 <sup>a</sup> | 0,67 <sup>b</sup> | 0,01  | 0,012   | 0,66 | 0,59  | 0,04  | ns      |
| 16:0 iso      | 0,38              | 0,4               | 0,01  | ns      | 0,32 | 0,32  | 0,03  | ns      |
| 17:0 iso      | 0,48              | 0,5               | 0,02  | ns      | 0,43 | 0,36  | 0,03  | ns      |
| 17:0 anteiso  | 0,63              | 0,69              | 0,01  | ns      | 0,53 | 0,56  | 0,05  | ns      |
| 18:0 iso      | 0,1               | 0,08              | 0,03  | ns      | 0,06 | 0,05  | 0,003 | ns      |
| Total AGCR    | 2,87              | 2,9               | 0,03  | ns      | 2,46 | 2,34  | 0,18  | ns      |

AGCR: Ácidos grasos de cadena ramificada. ns: no significativo. MIX: sistema mixto (pastura y suplementación), C-DTM: sistema confinado (sin pastura). Los Ag son expresados en g de AG/100g de grasa. Letras en superíndice distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). EEM: error estándar de la media.

En relación al cociente de AG n-6/n-3, se obtuvo una relación de 2/1 tanto en el tratamiento MIX como el C-DTM siendo no significativo. Por otro lado, el IA de ambas mantecas MIX y C-DTM da un valor de 3,06 y 3,10, respectivamente.

En cuanto al IU, no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores obtenidos para MIX y C-DTM fueron  $1,69 \pm 0,05$  y  $1,56 \pm 0,05$ , respectivamente.



## DISCUSIÓN

En este trabajo se pudo constatar que los predios provenientes de la región litoral norte del Uruguay con mayor inclusión de pastura en la dieta produjeron leches con mayor porcentaje de AG considerados saludables como TVA, CLA, omega 3 y valores de n-6/n-3 considerados benéficos desde el punto de la salud humana, en comparación con los predios con baja o nula inclusión de pastura. En este mismo sentido, también se observó que los predios con AP tuvieron mayor porcentaje de algunos AGCIR con efectos positivos para la salud como 15:0 iso y anteiso y 17:0 iso en comparación con los predios BP. Con respecto a las mantecas, las elaboradas a partir del predio que tenía pastura en la dieta, presentaron un PAG más saludable que las elaboradas del predio que no ofrecía pastura en la dieta. Esto también se pudo constatar por el mayor porcentaje en el TVA, CLA y mayor contenido de algunos AGCIR como 15:0 anteiso y 17:0 iso.

En relación al contenido de grasa en leche, nuestros resultados en sistemas comerciales (AP y BP), concuerdan con los hallados en otros trabajos de la región quienes comparan diferentes sistemas lecheros (SM y sistemas con 100% DTM). En este sentido, los valores en relación al porcentaje de grasa total y los principales AG (agrupados según grado de saturación de la cadena) de nuestro tratamiento AP, coinciden con lo reportado por Salado et al. (2018), en SM (50 y 75% de pastura) con diferentes niveles de DTM. Estos autores reportan niveles de grasa total de 3,91% y 3,80%, de AGS de 59,7% y 58,2% y AGI (suma AGMI y AGPI) de 29,7% y 32,2% respectivamente. En el caso de Pastorini et al. (2019), también en SM con diferentes niveles de forraje fresco ofrecido en corral (sin pastoreo), los valores para el grupo con 50% pastoreo fueron de 4,06% de grasa total, 72,2% de AGS, 24,9% AGMI y 2,9% de AGPI. Al comparar el contenido de grasa total y AGS de estos últimos autores, los valores fueron levemente superiores a los obtenidos en nuestro estudio en sistemas comerciales de AP, lo cual se pudo deber a la forma de obtención de la pastura (forraje fresco cortado vs. pastoreo directo). En relación al tratamiento BP, los resultados obtenidos en nuestro estudio son similares a los reportados por Salado et al. (2018), para dietas con un 75% de DTM, con valores de AGS del 60,1% y AGI del 29,2%. y Barca et al. (2018), para dietas con un 50% de DTM, quienes obtuvieron un PAG con 64,7% de AGS, 30,9% de AGMI y 4,41% de AGPI, en sistemas mixtos con condiciones similares. Sin embargo, en el caso de los resultados reportados por Pastorini et al. (2019), en dietas con proporciones de DTM del 75%, reportaron un PAG de 73,4% de AGS, 23,8% de AGMI y 2,74% de AGPI, difiriendo levemente de nuestros resultados y de los otros trabajos donde los animales contaban con pastoreo directo.

Por lo tanto, al comparar los resultados del PAG en leche de sistemas lecheros con diferentes niveles de pastura en la dieta en términos generales se observa una tendencia a disminuir el porcentaje de AGI y aumentar los AGS en la leche a medida que aumenta el porcentaje de DTM en la dieta, generando un PAG

menos saludable para el consumidor relacionado a la calidad nutricional de la grasa láctea.

El alto contenido de AGS en leche obtenido en nuestro estudio en especial los AG individuales 14:0, 16:0 y 18:0 concuerda con los resultados obtenidos por Mendoza et al. (2016), Barca et al. (2018), Grille et al. (2022), en trabajos en Uruguay, comparando diferentes niveles de oferta de pastura en la vaca lechera y su repercusión en los AG de la leche. El hecho que los AGS sean los más abundantes se explicaría, en parte, por el origen de los AG de la leche, siendo estos en su mayoría sintetizados “*de novo*” en la GM a partir de precursores ruminales, en este sentido se destaca el AG 14:0 por su origen de *novo* y el 16:0 que tiene origen mixto derivando tanto de la síntesis de *novo* como de la movilización de grasas corporales generando así una mayor proporción dentro de los AGS (Bauman & Griinari., 2003). Por otro lado, el 18:0 llega a la GM principalmente debido a la BH completa en el rumen de los AG 18:2 y 18:3, y también de la movilización de las reservas corporales (Cajarville et al., 2003; Chilliard et al., 2007; Martínez Marín et al., 2010). En particular los AG 14:0 y 16:0 son conocidos por su posible contribución a la hipercolesterolemia, afecciones cardiovasculares y los problemas de salud posteriores.

Si bien no hubo diferencias significativas en los AGMI y los AGPI totales, en el caso del TVA y CLA sí observamos que el tratamiento AP tuvo mayores niveles en comparación con BP, coincidiendo con lo reportado por Morales-Almaráz et al. (2010), Barca et al. (2018) y Loo, Soriano et al. (2003), quienes al comparar vacas en sistemas con 100% DTM y vacas en sistemas DTM combinadas con diferentes tiempos de pastoreo, reportan que el aumento de la pastura en la dieta aumentó dichos AGs en la leche. Couvreur et al. (2006), también encontraron que el TVA aumenta en la leche a medida que aumenta la pastura en la dieta. En este mismo sentido, el resultado de mayor contenido de TVA de la manteca del tratamiento MIX es concordante con Timlin et al. (2024), quienes observaron que mantecas provenientes de vacas con SM (DTM + pastura) presentaron mayor contenido de TVA que los sistemas con 100% DTM en la dieta, con valores de  $3,38 \pm 0,26\%$  y  $2,40 \pm 0,35\%$ , respectivamente. En el caso del CLA para las mantecas, el mayor valor obtenido para el tratamiento MIX en comparación con el predio sin pastura, está de acuerdo con los reportados por O’Callaghan et al. (2016), quienes describen mayores valores de CLA en mantecas de vacas que consumían diferentes tipos de pastura en la dieta en comparación con solo DTM. En este caso los valores reportados fueron de 1,71% y 1,35% para alimentaciones 100% a pastoreo (con diferentes tipos de pastos) y 0,58% para dieta 100% DTM. El mismo efecto está reportado por Timlin et al. (2024), para el caso de la alimentación de pastura 1,11%, para ración mixta 0,62% y en el caso de alimentación 100% DTM 0,43%. Los mayores niveles de CLA y TVA en la leche y manteca a medida que aumenta la pastura en la dieta se podría explicar en parte por el aporte de AG 18:2 y 18:3 de la pastura (Elgersma et al., 2006; 2015) ya que son precursores del TVA y CLA en la leche y por lo tanto en los productos derivados. En nuestro trabajo pudimos constatar que el contenido de AG linolénico en la pastura (tanto en AP como en BP) fue mayor al compararlo con la concentración de este AG en las reservas y concentrados de los predios estudiados, coincidiendo con Elgersma (2006;

2015). En este sentido, Morales-Almaráz et al. (2010), Barca et al. (2018) y Loor, Soriano et al. (2003) reportaron que mayores tiempos de pastoreo en SM en comparación con sistemas sin pastoreo tuvieron mayor concentración de AG linolénico en leche. Dicho AG puede ser modificado en el rumen o también puede pasar directamente al duodeno donde es absorbido y finalmente pasar de la sangre a la leche (Chilliard et al., 2007). Por lo tanto, el resultado de mayor contenido de ácido linolénico en la leche del tratamiento AP puede explicarse por la alimentación rica en pasturas. Dado que la pastura es una fuente importante de los ácidos linoleico y linolénico (Alothman et al., 2019; Elgersma, 2006) y que una de las principales fuentes de los AG CLA y TVA en la leche es la BH incompleta del AG linoleico (Griinari & Bauman, 1999), la mayor proporción de pastura en los tratamientos AP y MIX explica el mayor contenido de los AG CLA y TVA en las leches, implicando un aumento en el contenido de TVA y CLA en la manteca. Por otro lado, el TVA que se encuentra en la GM puede ser transformado a CLA por la enzima  $\Delta 9$ -desaturasa (Bauman & Griinari, 2001) favoreciendo también a un aumento del CLA. Reforzando estas posibles explicaciones ambos AG tendieron a aumentar en el mismo sentido, esto muestra la dependencia metabólica para la formación de ambos en el rumen por una BH incompleta y la actividad de la  $\Delta 9$ -desaturasa en la GM (Bauman et al., 2006).

En cuanto a la relación n-6/n-3, si bien no hubo diferencias entre tratamientos los valores encontrados en la leche del tratamiento AP, estuvieron dentro de los considerados saludables para la salud humana (por debajo de 4/1) (Simopoulos, 2002; 2008) mientras que la leche proveniente de BP estuvo levemente por encima de esos valores (5/1). Estos resultados, están en acuerdo con lo reportado por Pastorini et al. (2019) y Grille et al. (2022; 2023), en trabajos realizados en Uruguay. Estos autores encontraron que los sistemas que tenían presencia de pastura en la dieta presentaron menores valores en este indicador en comparación con sistemas sin o con baja proporción de pastura en la dieta. Esto se podría explicar dado que la pastura brinda un importante aporte de 18:3, el cual es uno de los principales AG n-3 (Catrileo et al., 2018; Chilliard et al., 2000; Elgersma et al., 2006; Mc Donald et al., 1985). Al aumentar este AG disminuiría la relación n-6/n-3, resultando en un producto más saludable (Simopoulos, 2002; 2008).

En relación con el IA obtenido en este trabajo no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en esta variable. Sin embargo, Couvreur et al. (2006) sí reporta diferentes valores de IA (2,93, 2,69, 2,48 y 2,01) al aumentar gradualmente la inclusión de pastura en la dieta (0%, 30%, 60% y 100%, respectivamente). Por lo tanto, se puede mencionar que la disminución del IA es inversamente proporcional al aumento de la pastura en la dieta (Tanaka, 2005).

En cuanto al IU, los valores reportados por O'Callaghan et al. (2016), para mantecas obtenidas de vacas alimentadas con niveles de 100% de pastura, fueron de  $1,67 \pm 0,10$  y  $1,58 \pm 0,20$ , siendo similares a los obtenidos en nuestro estudio para la manteca obtenida del predio MIX. Aunque no hubo diferencias significativas entre MIX y C-DTM, los valores fueron mayores para MIX que para C-DTM. Al observar los valores de los AG individuales (16:0 y 18:1) que

determinan el IU constatamos que la manteca del predio C-DTM tuvo mayor concentración de 18:1 en comparación con la manteca MIX, resultados que fueron contrarios a lo esperado. Al analizar el PAG de la dieta de los predios se evidenció que el tratamiento C-DTM tuvo mayor proporción de AG 18:1 y 18:2 en comparación con la dieta del predio MIX. Este resultado podría deberse a una alta proporción de grano de maíz y expeller de soja de la dieta DTM, los que proporcionan alta cantidad de 18:2 (Palmquist & Jenkins, 1980; (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [NASEM], 2021). Sumado a esto el ensilaje de maíz generalmente contiene entre 30-40% de grano, el cual es rico en 18:2, 18:1 y bajo en 18:3 (Roy et al., 2006). Por lo tanto, la mayor concentración de 18:2 en la dieta del predio C-DTM pudo haber resultado en mayor 18:1 *cis* en la manteca, dando un menor valor en el IU. Este resultado podría sugerir la obtención de una manteca más untable para el C-DTM en comparación con MIX.

Por último, si bien no hubo diferencias significativas en el total de AGS entre tratamientos para la leche y manteca, el mayor contenido de AGCR obtenidos en nuestro trabajo en los grupos AP coincide con los resultados obtenidos por Civico et al. (2017) y Patel et al. (2013), quienes encontraron que leches que provenían de vacas alimentadas con mayor porcentaje de pastura en la dieta tuvieron mayor concentración de estos AG. En este sentido y en particular en lo referente a 15:0 iso y anteiso, y 17:0 iso, Cívico et al. (2017), obtuvieron valores en leche de vacas alimentadas con una dieta rica en fibra y pobre en almidón de 0,17% para 15:0 iso, de 0,30% para 15:0 anteiso y de 0,27% para 17:0 iso, los que fueron mayores a los encontrados en leche del grupo con dieta rica en almidón. Siguiendo esta tendencia, Patel et al. (2013) reportaron que a mayor proporción de ensilaje de pastura (aumentos de 50 a 85%) los AGCIR aumentan en la leche. Específicamente, los grupos con alta proporción de ensilaje de pastura (85%) obtuvieron valores para 15:0 iso de 0,21%, para 15:0 anteiso de 0,42% y para 17:0 iso de 0,47%. Estos valores son levemente inferiores a los obtenidos en nuestro trabajo para el tratamiento AP. Esto se puede deber a que en nuestro trabajo el tratamiento AP obtenía el forraje a partir de pastura fresca (pastoreo directo), mientras que en el estudio de Patel et al. (2013), el forraje fue administrado a través de ensilaje de pastura. Esto es importante tenerlo en cuenta ya que el contenido de aminoácidos como la valina, leucina e isoleucina sería mayor cuando se utiliza el pastoreo directo. Estos aminoácidos son particularmente interesantes dado que se incorporan en la membrana de las bacterias ruminales como AGCR (Fievez et al., 2012). Para el caso de los ensilajes de pasturas las fracciones solubles de carbohidratos y proteínas disminuyen debido a procesos enzimáticos y fermentación láctica, los que pueden afectar negativamente la síntesis de AGCR a nivel ruminal (Borreani et al., 2018; Fernández Mayer, 1999). Sumado a esto el mayor contenido de estos AG ramificados en leche y manteca proveniente de sistemas con mayor pastura en la dieta obtenidos en este trabajo podría ser a causa de que la pastura aumenta la población de bacterias celulolíticas en el rumen (Gómez-Cortés & De la Fuente, 2019). Estas bacterias contienen en sus membranas AG ramificados (mayoritariamente iso) de cadena impar 15:0 y 17:0, los que se absorben e incorporan en la leche, aumentando su concentración en la misma (Bär, et al., 2020; Kraft et al., 2003; Patel et al., 2013; Zhang et al., 2017). También, está

reportado por Vlaeminck et al. (2006), que una dieta rica en almidón se caracteriza por una mayor proliferación de bacterias amilolíticas las cuales disminuyen la cantidad de AG 14:0 iso, 15:0 iso y 16:0 iso, aunque aumentaría los AG anteiso, fortaleciendo así nuestra explicación de los resultados obtenidos.

En base a los resultados obtenidos en este trabajo se podría sugerir que las leches y productos lácteos provenientes de vacas alimentadas con mayor porcentaje de pastura en la dieta tendrían mejor calidad nutricional, lo que conlleva a mayores beneficios para la salud humana como indican los niveles más altos de CLA, TVA, n-3 y AGCIR en comparación con la leche y mantecas de vacas con menores porcentajes de pasturas en la dieta. Esto se sustenta sobre la base que el CLA, TVA y 18:3 n-3 son AG considerados beneficiosos para los consumidores debido a sus efectos antiaterogénicos, anticancerígenos, antiinflamatorios, inmunoestimulantes y moduladores de la resistencia a la insulina (García et al., 2014; Pariza et al., 2001) y que los AGCR son considerados componentes bioactivos protectores de la salud (Ran-Ressler et al., 2008) con propiedades anticarcinogénicas y antiinflamatorias (Taormina et al., 2020). Es importante destacar que los AGCIR se presentan disponibles para el consumo humano casi exclusivamente en la grasa de rumiantes (Gómez-Cortés & De la Fuente, 2019; Taormina et al., 2020).

## CONCLUSIONES

Se concluye que la mayor inclusión de pastura en la dieta aumenta la proporción de AG con efectos benéficos para la salud humana como TVA, CLA, 18:3 n-3, algunos AGCIR como 15:0 iso y anteiso y 17:0 iso, así como una relación n-6/n-3 por debajo de 4/1, lo que resultaría en una leche más saludable desde el punto de vista del consumo humano. Con respecto a las mantecas, los resultados sugieren una tendencia similar a lo encontrado en la leche, donde las mantecas elaboradas con leche del predio que incluía pastura en la dieta (MIX) tuvieron una mejor calidad nutricional de la grasa láctea en comparación con el predio sin pastura (C-DTM). Por lo tanto, estos resultados reafirman la importancia de la inclusión de pastura en la dieta para la obtención de leches y mantecas de mejor calidad nutricional relacionada a la grasa láctea. Esto se constató en sistemas lecheros comerciales de Uruguay que incluyen pasturas en comparación con los sistemas de confinamiento y alimentación exclusiva de DTM.

Los sistemas con mayor proporción de pastura en la dieta resultaron en una leche con un PAG “más saludable” sin afectarse el contenido de grasa total. Esto es interesante, dado que el porcentaje total de la grasa podría disminuir al aumentar el contenido de AGPI en la dieta, lo cual perjudicaría económicamente al productor. En nuestro caso no se vio afectada esa variable, siendo un aspecto positivo que se debe considerar.

Los resultados de este trabajo muestran información novedosa para nuestro país, ya que hasta el momento no existían trabajos que hubieran relevado los valores de estos AG (principalmente los AGCIR) en leches ni elaboración de productos lácteos como mantecas provenientes de los sistemas lecheros de Uruguay. Esta información demuestra que los sistemas predominantes en nuestro país (SM) presentaron niveles más altos de AG de interés para los consumidores, en comparación con sistemas con bajo nivel o sin pastura en la dieta. Por lo tanto, esta información podría ser de utilidad para las industrias lácteas con el objetivo de mejorar el valor agregado de los productos a nivel de los mercados internacionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adesogan, A. T., & Dahl, G. E. (2020). MILK Symposium Introduction: Dairy production in developing countries. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 9677–9680. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18313>
- Aguerre, M., Cajarville, C., La Manna, A., Cavestany, D., Mendoza, A., Mattiauda, D. A., Carriquiry, M., Repetto, J. L., Meikl, A., & Chilbroste, P. (2017). *Estrategias de alimentación de vacas lecheras en pastoreo*. INIA.
- Alothman, M., Hogan, S. A., Hennessy, D., Dillon, P., Kilcawley, K. N., O'Donovan, M., Tobin, J., Fenelon, M. A., & O'Callaghan, T. F. (2019). The “grass-fed” milk story: Understanding the impact of pasture feeding on the composition and quality of bovine milk. *Foods* 8(8), Article 350. <https://doi.org/10.3390/foods8080350>
- Artegoitia, V., Meikle, A., Olazabal, L., Damián, J. P., Adrien, M. L., Mattiauda, D. A., Bermudez, J., Torre, A., & Carriquiry, M. (2013). Milk casein and fatty acid fractions in early lactation are affected by nutritional regulation of body condition score at the beginning of the transition period in primiparous and multiparous cows under grazing conditions. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(5), 919–932. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01338.x>
- Bainbridge, M. L., Cersosimo, L. M., Wright, A. D. G., & Kraft, J. (2016). Content and composition of branched-chain fatty acids in bovine milk are affected by lactation stage and breed of dairy cow. *PLOS ONE*, 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150386>
- Bär, C., Sutter, M., Kopp, C., Neuhaus, P., Portmann, R., Egger, L., Reidy, B., & Bisig, W. (2020). Impact of herbage proportion, animal breed, lactation stage and season on the fatty acid and protein composition of milk. *International Dairy Journal*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104785>
- Barca, J., Carriquiry, M., Olazabal, L., Fajardo, M., Chilbroste, P., & Meikle, A. (2018). Milk fatty acid profile from cows fed with mixed rations and different access time to pastureland during early lactation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(3), 620–629. <https://doi.org/10.1111/jpn.12826>
- 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. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (4ª ed.). Pearson Educación.
- Bauman, D. E., & Griinari, J. M. (2001). Regulation and nutritional manipulation of milk fat: Low-fat milk syndrome. *Livestock Production Science*, 70. [www.elsevier.com/locate/livprodsci](http://www.elsevier.com/locate/livprodsci)
- Bauman, D. E., & Griinari J. M (2003) Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition*, 23, 203–227.
- Bauman, D. E., Mather, I.H., Wall, R.J., & Lock, A.L. (2006). Major advances associated with the biosynthesis of milk. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1235–1243. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72192-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72192-0)
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages.

- Journal of Dairy Science*, 101(5) 3952–3979.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- Cajarville, C., Curbelo, A., Repetto, J. L., & Corso, C. (2003). *Primer curso a distancia para profesionales sobre nutrición de rumiantes*. Facultad de Veterinaria.
- Cajarville, C., Mendoza, A., Santana, A., & Repetto, J. L. (2012). En tiempos de intensificación productiva... ¿Cuánto avanzamos en el conocimiento de los nuevos sistemas de alimentación de la vaca lechera? *Veterinaria (Montevideo)*, 48 (Supl.1), 35-39.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11770/1/AUPA-2012-35-39-Cajarville.pdf>
- Calvo, M., Castro-Gómez, M., García-Serrano, A., Rodríguez-Alcalá, L., Juárez Iglesias, M., & Fontecha Alonso, J. (2014). Grasa láctea. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 18(2), 57–63.
- Carrillo, A. C., Lizarazo Cely, C. S., & Porras Vargas, J. L. (2017). Effect of supplementing *Medicago Sativa* (Alfalfa) on some parameters of bovine milk. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(4), 852–860.  
<https://doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13870>
- Catrileo, A., Morales, R., Subiabre, I., Ungerfeld, E., & Levío C, J. (2018). Beneficios sobre la calidad de la carne de diferentes estrategias de alimentación con gramíneas y leguminosas forrajeras en rumiantes. En H.F. Elizalde (Ed.), *Desarrollo de estrategias de diferenciación de calidad de carnes rojas (bovino y ovino) en base a los recursos forrajeros de ambientes contrastantes de la zona Sur y La Patagonia de Chile* (pp. 17-32). INIA Chile.
- Centro de Estudios de la Realidad Económica y Social. (2021). *El sector lácteo como motor del desarrollo económico y social del Uruguay*.  
[https://ceres.uy/admin/uploads/slides/archivo\\_1669002285.pdf](https://ceres.uy/admin/uploads/slides/archivo_1669002285.pdf)
- Charlton, G. L., & Rutter, M. (2017). The behaviour of housed dairy cattle with and without pasture access: A review. *Applied Animal Behaviour Science*, 192, 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.05.015>
- Chilibroste, P., & Battegazzore, G. (2014). *Proyecto producción competitiva-CONAPROLE*.
- Chilliard Y, Ferlay A, Mansbridge RM, Doreau M (2000). Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. *Ann Zootech*; 49: 181-205.
- Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J., & Doreau, M. (2007). Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(8), 828–855.  
<https://doi.org/10.1002/ejlt.200700080>
- Chudy, S. M., Cais-Sokolińska, D., & Tomaszewska-Gras, J. (2022). Physicochemical characteristics and consumers' preferences for milk fat products. *Applied Sciences*, 12(23).  
<https://doi.org/10.3390/app122311986>
- Cívico, A., Núñez Sánchez, N., Gómez-Cortés, P., de la Fuente, M. A., Peña Blanco, F., Juárez, M., Martínez Marín, A. L. (2016). Odd- and branched-chain fatty acids in goat milk as indicators of the diet composition. *Italian Journal of Animal Science*, 15(4), 470–478.  
<http://doi.org/10.1080/1828051x.2016.1263547>



- Cornes, R. (Ed.). (2014). *Lácteos: alimentos esenciales para el ser humano, Sí a la leche!* Federación Panamericana de Lechería.
- Couvreux, S., Hurtaud, C., Lopez, C., Delaby, L., & Peyraud, J. L. (2006). The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fatty acid composition, and butter properties. *Journal of Dairy Science*, 89(6), 1956–1969. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72263-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72263-9)
- Cowley, F. C., Barber, D. G., Houlihan, A. V., & Poppi, D. P. (2015). Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2356–2368. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8442>
- Croissant, A. E., Washburn, S. P., Dean, L. L., & Drake, M. A. (2007). Chemical properties and consumer perception of fluid milk from conventional and pasture-based production systems. *Journal of Dairy Science*, 90(11), 4942–4953. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0456>
- Daley, C. A., A. Abbott, P. S. Doyle, G. A. Nader, and S. Larson. 2010. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutr. J.* 9:10. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-10>
- Darré, E., Llanos, E., Astigarraga, L., Cadenazzi, M., & Picasso, V. (2021). Do pasture-based mixed dairy systems with higher milk production have lower environmental impacts? A Uruguayan case study. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 64(3), 444–462. <https://doi.org/10.1080/00288233.2020.1750433>
- Dewhurst, R.J., Shingfield, K.J., Lee, M.R.F., Scollan, N.D. (2006). Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Animal Feed Science and Technology*, 131(3), 168–206. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.012>
- Elgersma, A. (2015). Grazing increases the unsaturated fatty acid concentration of milk from grass-fed cows: A review of the contributing factors, challenges and future perspectives. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(9), 1345–1369. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400469>
- Elgersma, A., Tamminga, S., & Ellen, G. (2006). Modifying milk composition through forage. *Animal Feed Science and Technology*, 131(3) 207–225. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.012>
- Fajardo, M., Mattiauda, D. A., Motta, G., Genro, T. C., Meikle, A., Carriquiry, M., & Chilibraste, P. (2015). Use of mixed rations with different access time to pastureland on productive responses of early lactation Holstein cows. *Livestock Science*, 181, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.023>
- Fariña, S. R., & Chilibraste, P. (2019). Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: The case of farm systems in Uruguay. *Agricultural Systems*, 176, <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.05.001>
- Fernández Mayer, A. (1999) *El Silaje y los procesos fermentativos*. <https://www.produccion-animal.com.ar/>
- Fievez, V., Colman, E., Castro-Montoya, J. M., Stefanov, I., & Vlaeminck, B. (2012) Milk odd- and branched-chain fatty acids as biomarkers of rumen

- function—An update. *Animal Feed Science and Technology*, 172(1–2), 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.008>
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. (2020). *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos* (3.<sup>a</sup> ed.). Fundación FEDNA. <https://www.fundacionfedna.org>
- García, C. A. C., Montiel, R. L. A., & Borderas, T. F. (2014). Grasa y proteína de la leche de vaca: Componentes, síntesis y modificación. *Archivos de Zootecnia*, 63, 85–105.
- Gill, M. (1979). Los principios y la práctica de alimentar a los rumiantes con dietas completas. *Grass and Forage Science*, 34, 155-161 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1979.tb01462.x>
- Gómez-Cortés, P., & De la Fuente, M.A. (2019). Origen metabólico y propiedades bioactivas de ácidos grasos ramificados e impares en leche de rumiantes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(4), 1174-1191 <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.5171>
- Gómez-Cortés, P., Juárez, M., & de la Fuente, M.A. (2018). Milk fatty acids and potential health benefits: An updated vision. *Food Science & Technology*, 81, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.014>
- Grille, L., Adrien, M. L., Méndez, M. N., Chilbroste, P., Olazabal, L., & Damián, J. P. (2022). Milk fatty acid profile of holstein cows when changed from a mixed system to a confinement system or mixed system with overnight grazing. *International Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1155/2022/5610079>
- Grille, L., Escobar, D., Méndez, M. N., Adrien, M. de L., Olazabal, L., Rodríguez, V., Pelaggio, R., Chilbroste, P., Meikle, A., & Damián, J. P. (2023). Different conditions during confinement in pasture-based systems and feeding systems affect the fatty acid profile in the milk and cheese of holstein dairy cows. *Animals*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/ani13081426>
- Griinari JM, Bauman DE (1999). Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. *Advances in conjugated linoleic acid research*; 1: 180-200.
- Hara, A., & Radin, N. S. (1978). Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. *Analytical Biochemistry*, 90, 420–426.
- Haug A, Hostmark AT, & Harstad OM (2007). Lipid in health and disease. *Bio Med central*, 6, 25-41. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-6-41>
- Instituto Nacional de la Leche. (2024). *Comercio de lácteos*. <https://www.inale.org/wp-content/uploads/2025/01/Mercado-internacional.pdf>
- Instituto Nacional de la Leche. (2025). *Uruguay lechero*. <https://www.inale.org/uruguay-lechero/>
- International Dairy Federation [IDF], 2023.
- Instituto Plan Agropecuario. (2009). Rol de las reservas forrajeras en los sistemas ganaderos (Revista Plan Agropecuario, N.º 130, pp. 46–59). Montevideo, Uruguay: Instituto Plan Agropecuario. Recuperado de [https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R130/R\\_130\\_46.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R130/R_130_46.pdf)
- International Dairy Federation [IDF], 2023.
- Ivanova, A., & Hadzhinikolova, L. (2015). Evaluation of nutritional quality of

- common carp (*Cyprinus carpio* L.) lipids through fatty acid ratios and lipid indices. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 21 (Supl. 1), 180–185.
- Jasinsky, A., Mattiauda, D. A., Ceriani, M., Casal, A., & Carriquiry, M. (2019). Heat production and body composition of primiparous Holstein cows with or without grazing pastures in early lactation. *Livestock Science*, 226, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.017>
- Kraft, J., Collomb, M., Möckel, P., Sieber, R., & Jahreis, G. (2003). Differences in CLA isomer distribution of cow's milk lipids. *Lipids*, 38(6), 657–664. <https://doi.org/10.1007/s11745-003-1111-z>
- Krawczel, P., & Grant, R. (2009, January). *Effects of cow comfort on milk quality, productivity and behavior*. NMC Annual Meeting Proceedings, 48. National Mastitis Council. [https://www.afimilk.com/app/uploads/effects\\_of\\_cow\\_comfort\\_on\\_milk\\_quality\\_productivity\\_and\\_behavior.pdf](https://www.afimilk.com/app/uploads/effects_of_cow_comfort_on_milk_quality_productivity_and_behavior.pdf)
- Lammers, B. P., Heinrichs, A. J., & Ishler, V. A. (2002). *Uso de Ración Total Mezclada (TMR) Para Vacas Lecheras*. <https://ganaderiasos.com/wp-content/uploads/2015/03/uso-de-racion-total-mezclada-tmr-para-vacas-lecheras.pdf>
- Loor, J. J., Soriano, F. D., Lin, X., Herbein, J. H., & Polan, C. E. (2003). Grazing allowance after the morning or afternoon milking for lactating cows fed a total mixed ration (TMR) enhances *trans* 11-18:1 and *cis*9,*trans* 11-18:2 (ruminic acid) in milk fat to different extents. *Animal Feed Science and Technology*, 109(1–4), 105–119. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00175-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00175-5)
- Martínez Marín, A., Pérez Hernández, M., Pérez Alba, L., & Gómez Castro, G. (2010). *Digestión de los lípidos en los rumiantes*. *Interciencia*, 35(4), 240–246.
- Mc Donald, P., Edwards, R.A., Greenhald, J.F.D., & Morgan, C.A. (1985). *Nutrición Animal* (5ª ed.). Editorial Acribia.
- Méndez, M. N., Chilbroste, P., & Aguerre, M. (2020). Pasture dry matter intake per cow in intensive dairy production systems: effects of grazing and feeding management. *Animal*, 14(4), 846–853. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002349>
- Mendoza, A., Cajarville, C., & Repetto, J.L. (2016). Short communication: Intake, milk production, and milk fatty acid profile of dairy cows fed diets combining fresh forage with a total mixed ration. *Journal of Animal Science*, 99(3), 1938–1944. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10257>
- Mendoza, A., Cajarville, C., Santana, Á., & Repetto, J. L. (2011). ¿Hacia una nueva forma de pensar la alimentación de las vacas lecheras? La inserción del confinamiento en los sistemas pastoriles de producción de leche. En *XV Congreso Latinoamericano de Buiatría. XXXIX Jornadas Uruguayas de Buiatría* (pp. 82-90). CMVP.
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2015). *Regiones agropecuarias del Uruguay 2015*. Dirección de Estadísticas Agropecuarias. <http://www.mgap.gub.uy/dieaanterior/regiones/regiones2015.pdf>
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2024). *Anuario estadístico de DIEA 2024*. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2024/Anuario2024/%20ANUARIO2024.pdf>

- Ministerio de Salud Pública. (1994). *Reglamento bromatológico nacional*. MSP.
- Morales-Almaráz, E., Soldado, A., González, A., Martínez-Fernández, A., Domínguez-Vara, I., De La Roza-Delgado, B., & Vicente, F. (2010). Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding of total mixed ration. *Journal of Dairy Research*, 77(2), 225–230. <https://doi.org/10.1017/S002202991000004X>
- Morales-Piñeyrúa, J. T., Damián, J. P., Banchemo, G., & Sant'Anna, A. C. (2022). The effects of heat stress on milk production and the grazing behavior of dairy Holstein cows milked by an automatic milking system. *Journal of Animal Science*, 100(9), skac225. <https://doi.org/10.1093/jas/skac225>
- Nantapo, C. T. W., Muchenje, V., & Hugo, A. (2014). Atherogenicity index and health-related fatty acids in different stages of lactation from Friesian, Jersey and Friesian × Jersey cross cow milk under a pasture-based system. *Food Chemistry*, 146, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.009>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). Nutrient requirements of dairy cattle (8th ed.). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). Biosynthesis of Fatty Acids and Eicosanoids. *En Lehninger Principles of Biochemistry* (7<sup>a</sup> ed.). Freeman and Company.
- O'Callaghan, T. F., Faulkner, H., McAuliffe, S., O'Sullivan, G., Hennessy, D., Dillon, P., Kilcawley, K. N., Stanton, C. & Ross, P. (2016). Quality characteristics, chemical composition, and sensory properties of butter from cows on pasture versus indoor feeding systems. *Journal of Dairy Science*, 2018 Sep;101(9):8616 . <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11271>
- O'Callaghan, T. F., Hennessy, D., McAuliffe, S., Kilcawley, K. N., O'Donovan, M., Dillon, P., Ross, R. P., & Stanton, C. (2016). Effect of pasture versus indoor feeding systems on raw milk composition and quality over an entire lactation. *Journal of Dairy Science*, 99(12), 9424–9440. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10985>
- Palmquist, D. L. (2009). Omega-3 fatty acids in metabolism, health, and nutrition and for modified animal product foods. *The Professional Animal Scientist*, 25(3), 207. [https://doi.org/10.15232/S1080-744\(15\)30721-1](https://doi.org/10.15232/S1080-744(15)30721-1)
- Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (1980). Fat in lactation rations: Review. *Journal of Dairy Science*, 63(1), 1–14. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)82881-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)82881-5)
- Pariza, M. W., Park, Y., & Cook, M. E. (2001). The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Progress in Lipid Research*, 40, 283–298. [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(01\)00008-X](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(01)00008-X)
- Pastorini, M., Pomiés, N., Repetto, J. L., Mendoza, A., & Cajarville, C. (2019). Productive performance and digestive response of dairy cows fed different diets combining a total mixed ration and fresh forage. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 4118–4130. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15389>
- Patel, M., Wredle, E., & Bertilsson, J. (2012). Effect of dietary proportion of grass silage on milk fat with emphasis on odd- and branched-chain fatty acids in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(1), 390-397. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5441>
- Ran-Ressler, R.R., Devapatla, S., Lawrence, P., & Brenna, J. (2008). Branched chain fatty acids are constituents of the normal healthy newborn



- gastrointestinal Tract. *Pediatric Research*, 64(6), 605-609. <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e318184d2e6>
- Rico, J.E., Moreno, B., Pabón, M., & Carulla, J. (2007). Composición de la grasa láctea en la sabana de Bogotá con énfasis en ácido ruménico - CLA *cis*-9, *trans*-11. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(3), 180–188.
- Roy, A., Ferlay, A., Shingfield, K. J., & Chilliard, Y. (2006). Examination of the persistency of milk fatty acid composition responses to plant oils in cows given different basal diets, with particular emphasis on *trans*-C18:1 fatty acids and isomers of conjugated linoleic acid. *Animal Science*, 82(4), 479–492. <https://doi.org/10.1079/ASC200658>
- Salado, E.E., Bretschneider, G., Cuatrin, A., Descalzo, A.M., and Gagliostro, G.A. (2018). Productive response of dairy cows fed with different levels of totally mixed ration and pasture. *Agricultural Sciences*, 9(7), 824–851.
- Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed Pharmacother*, 56, 365–379. [https://doi.org/10.1016/s0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/s0753-3322(02)00253-6)
- Simopoulos, A. P. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Experimental Biology and Medicine*, 233(6), 674–688. <https://doi.org/10.3181/0711-MR-311>
- Souto, G., Tommasino, H., Errea, E., & Sáder, M. (2018). *Logística de las cuatro principales cadenas agroindustriales del Uruguay*. Banco Interamericano de Desarrollo. [https://webimages.iadb.org/publications/2019-01/Cadena%20logistica\\_Uruguay\\_6dic.pdfobservatorio.mtop.gub.uy+2](https://webimages.iadb.org/publications/2019-01/Cadena%20logistica_Uruguay_6dic.pdfobservatorio.mtop.gub.uy+2)
- Tanaka, K. (2005). Occurrence of conjugated linoleic acid in ruminant products and its physiological functions. *Animal Science Journal*, 76, 291–303. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2005.00268.x>
- Taormina, V. M., Unger, A. L., Schiksnis, M. R., Torres-Gonzalez, M., & Kraft, J. (2020). Branched-chain fatty acids-an underexplored class of dairy-derived fatty acids. *Nutrients*, 12(9), 1–16. <https://doi.org/10.3390/nu12092875>
- Techeira, N., Keel, K., Garay, A., Harte, F., Mendoza, A., Cartaya, A., Fariña, S., & López-Pedemonte, T. (2023). Milk fatty acid profile from grass feeding strategies on 2 Holstein genotypes: Implications for health and technological properties. *Dairy Foods*, 169–174. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0273>
- Timlin, M., Brodkorb, A., O'Callaghan, T. F., Harbourn, N., Drouin, G., Pacheco-Pappenheim, S., Murphy, J. P., O'Donovan, M., Hennessy, D., Pierce, K. M., Fitzpatrick, E., McCarthy, K., & Hogan, S. A. (2024). Pasture feeding improves the nutritional, textural, and techno-functional characteristics of butter. *Journal of Dairy Science*, 107, 5376–5392. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24092>
- Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: Seven dietary factors. *The Lancet*, 338, 985–992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)
- Vlaeminck, B., Fievez, V., Cabrita, A. R. J., Fonseca, A. J. M., & Dewhurst, R. J. (2006). Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 131(3–4), 389–417. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.017>

- Walstra, P. G. T. J., van den Borne, J. J. A., & van Boekel, M. A. J. (2001). *Science of milk and technology of dairy products*. SCTIBIA, S.A.
- Wright, A. J., Scanlon, M. G., & Marangoni, A. G. (2001). Rheological Properties of Milkfat and Butter. *Journal of Food Science*, 66(8), 1056-1071.
- Zhang, Y., Liu, K., Hao, X., & Xin, H. (2017). The relationships between odd- and branched-chain fatty acids to ruminal fermentation parameters and bacterial populations with different dietary ratios of forage and concentrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(13), 4451–4459. <https://doi.org/10.1111/jpn.12602>
- Zibil, S., Zanoniani, R., Bentancur, O., Ernst, O., & Chilibraste, P. (2016). Control de intensidad de defoliación sobre la producción de forraje estacional y total en sistemas lecheros. *Agro Sur*, 44(2), 45–53. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2016.v44n2-06>