

Revisión invitada: Transición de las grasas dietéticas a los ácidos grasos: nuevas perspectivas sobre cómo los ácidos grasos afectan la digestibilidad, el metabolismo y el rendimiento en vacas lecheras.

J. Dairy Sci. 108:11733–11756 <https://doi.org/10.3168/jds.2025-27040>

RESUMEN

En nutrición lechera, el término "grasa" se refiere en general a los compuestos lipídicos formados principalmente por ácidos grasos (AG), que desempeñan diversas funciones en la digestión, el metabolismo y la producción de leche.

Los principales AG presentes en la dieta de las vacas lecheras son el **palmítico** (16:0), el **esteárico** (18:0), el **oleico** (18:1), el **linoleico** (18:2) y el **linolénico** (18:3).

En el rumen, los AG se modifican extensamente, lo que disminuye la toxicidad de los ácidos grasos insaturados (AGI) para las bacterias ruminales. Estas bacterias también pueden sintetizar AG a partir de los productos finales de la fermentación ruminal y de los aminoácidos (AA), produciendo principalmente AG de cadena impar y ramificada. A medida que los AG llegan al intestino, su digestibilidad se ve influenciada por varios factores, entre ellos el flujo total de AG, el perfil de AG, la presencia de compuestos emulsionantes y las características físicas de los suplementos de grasa.

La digestibilidad de los AG generalmente disminuye a medida que aumenta la ingesta total de AG y su flujo hacia el intestino, especialmente con el 18:0, que presenta una reducción más pronunciada en la digestibilidad que el 16:0.

Algunos ácidos grasos insaturados (AGI) de la dieta escapan a la biohidrogenación ruminal. Por lo tanto, las mezclas suplementarias que contienen **ácido oleico** (18:1) pueden aumentar su liberación postruminal, mejorando la digestibilidad y absorción de los ácidos grasos. Estos efectos son especialmente beneficiosos durante el inicio de la lactancia y en vacas de alta producción. Además, la forma y la pureza de los suplementos influyen en la absorción de los ácidos grasos, siendo menor la digestibilidad de los suplementos altamente saturados y puros. La fuente de ácidos grasos de 18 carbonos en la dieta también afecta la digestibilidad; las semillas oleaginosas se asocian con una menor reducción de la digestibilidad que los suplementos granulados que aportan ácido **esteárico** (18:0).

Históricamente, se ha demostrado que los AGI y los ácidos grasos de cadena media, comunes en los aceites vegetales, afectan negativamente la digestibilidad de la fibra neutro detergente (FND) debido a diversos mecanismos, como el recubrimiento de las partículas de fibra, la toxicidad microbiana y la menor disponibilidad de cationes. Sin embargo, estudios recientes indican que las fuentes de ácidos grasos con alto contenido de ácido **palmítico** (16:0) pueden mejorar la digestibilidad de la FND. Estas mejoras no están relacionadas con una menor ingesta de materia seca (IMS), lo que sugiere que podrían estar involucrados otros mecanismos, como la alteración de la actividad de los péptidos intestinales o cambios en la microbiota intestinal. En cuanto a la respuesta productiva, la suplementación con ácido linoleico (16:2) mejora consistentemente la producción de grasa láctea, la leche corregida por energía (ECM) y la utilización de nutrientes durante la lactancia.

En contraste, el ácido oleico (18:1) mejora la ganancia de peso y la digestibilidad de los ácidos grasos (AG), y es particularmente eficaz para aumentar la ECM en vacas de alta producción (más de 45 kg/día de leche) y en vacas al inicio de la lactancia. Sin embargo, el ácido **esteárico** (18:0) suele reducir la digestibilidad de los AG, lo que limita sus beneficios productivos. Diversos estudios han demostrado que las mezclas con mayor proporción de ácido **palmítico** (16:0), especialmente en comparación con el ácido **esteárico** (18:0), producen incrementos lineales en la producción de grasa láctea y la ECM, lo que respalda el uso preferencial del ácido **palmítico** (16:0) para la síntesis de grasa en la glándula mamaria. Si bien algunos estudios previos sugerían que la combinación de ácido **palmítico** (16:0) y ácido **oleico** (18:1) en un suplemento optimizaría la utilización de los AG, este enfoque ha sido ampliamente desacreditado por hallazgos recientes. Se ha demostrado que los altos niveles de ácido esteárico (18:0) en los suplementos de AG reducen la digestibilidad de los AG y la ingesta de energía. Esto limita su utilidad en la mayoría de los contextos productivos. La combinación de mezclas que contienen ácido **palmítico** (16:0) y ácido **oleico** (18:1) produjo mejores resultados productivos durante la lactancia temprana que otros suplementos que contenían solo ácido **palmítico** (16:0) o una combinación de ambos. En general, nuestra revisión destaca la complejidad de la digestión y el metabolismo de los ácidos grasos y subraya la importancia de adaptar las estrategias de suplementación a la etapa productiva y el estado fisiológico de las vacas lecheras, así como a los resultados deseados. Las investigaciones futuras deberían perfeccionar las formulaciones dietéticas para optimizar la distribución de la energía, mejorar la productividad y favorecer la salud metabólica durante toda la lactancia.

INTRODUCCIÓN

La adición de grasas suplementarias a la dieta es una práctica común en la nutrición de ganado lechero para mejorar el rendimiento animal (Palmquist y Jenkins, 2017). En general, se ha demostrado que la suplementación con grasas aumenta la producción de leche, el contenido de grasa láctea y el rendimiento reproductivo, pero los resultados han variado considerablemente entre los diferentes tipos de grasa e incluso para el mismo suplemento en distintas dietas y estudios (Rabiee et al., 2012; Rodney et al., 2015). Esta variabilidad entre experimentos podría deberse al uso de diferentes tipos de suplementos de grasa, el nivel de suplementación de ácidos grasos (AG), las interacciones con otros ingredientes de la dieta y el estado fisiológico de las vacas. Además, la grasa láctea es muy sensible a los cambios en la nutrición y el manejo (Bauman et al., 2011). Al mismo tiempo, es importante **evitar la pérdida excesiva de peso al inicio de la lactancia y favorecer la recuperación de la condición corporal en las vacas posparto para mejorar el rendimiento reproductivo y la rentabilidad de la explotación, asegurando además que no se produzca una pérdida excesiva de peso en las últimas etapas de la lactancia** (Piantoni y VandeHaar, 2023). Por lo tanto, la capacidad de comprender y modelar la digestión y el metabolismo de los ácidos grasos es fundamental para el desarrollo de estrategias óptimas de formulación de dietas.

Comprender cómo las diferentes fuentes de grasa y su composición influyen en el metabolismo animal y la distribución de la energía es clave para el avance de la nutrición con ácidos grasos (AG). La importancia de cada AG en la dieta va más allá de su aporte energético e incluye posibles efectos metabólicos y fisiológicos. La digestión, el metabolismo y la utilización de los AG son procesos complejos en los rumiantes, y estudios recientes destacan la importancia de

los AG dietéticos en el rendimiento. En este sentido, el ácido **palmítico** (16:0), el ácido **esteárico** (18:0) y el ácido **oleico** (cis -9 18:1; en adelante, 18:1) son los AG más abundantes en la grasa de la leche y el tejido adiposo de las vacas lecheras (de Souza et al., 2018). Estos AG tienen funciones y vías metabólicas distintas, pero pueden interactuar mediante mecanismos competitivos o complementarios según el estado fisiológico de la vaca. Así como las prácticas nutricionales han avanzado al centrarse en los aminoácidos (AA) individuales en lugar de la proteína cruda (PC), comprender los efectos específicos de cada AG es fundamental para impulsar tanto el conocimiento científico como las aplicaciones prácticas.

En la Figura 1 se muestra una representación esquemática de la digestión, el metabolismo y la distribución de los ácidos grasos (AG). Los principales AG presentes en la dieta de las vacas lecheras son los ácidos: palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1), linoleico (18:2) y linolénico (18:3). **Estos AG se modifican extensamente en el rumen e influyen en la digestión de otras fracciones de la dieta (p. ej., la fibra).** También influyen en la secreción de hormonas y péptidos en el intestino, lo que puede afectar la ingesta de alimento y el vaciamiento ruminal. Tras el metabolismo ruminal, los AG llegan al intestino, donde se absorben. Después de la absorción, se distribuyen en diferentes tejidos y se utilizan como componentes básicos para los productos finales (p. ej., la grasa de la leche) y como fuente de energía.

También pueden almacenarse en el tejido adiposo, influyendo en la transcripción, la expresión génica y la síntesis hormonal. El aporte de AG preformados a la glándula mamaria influye en la síntesis de novo y en la síntesis total de AG. La distribución de nutrientes hacia el tejido adiposo está influenciada por el estado fisiológico, el perfil de ácidos grasos de la dieta y otras condiciones dietéticas.

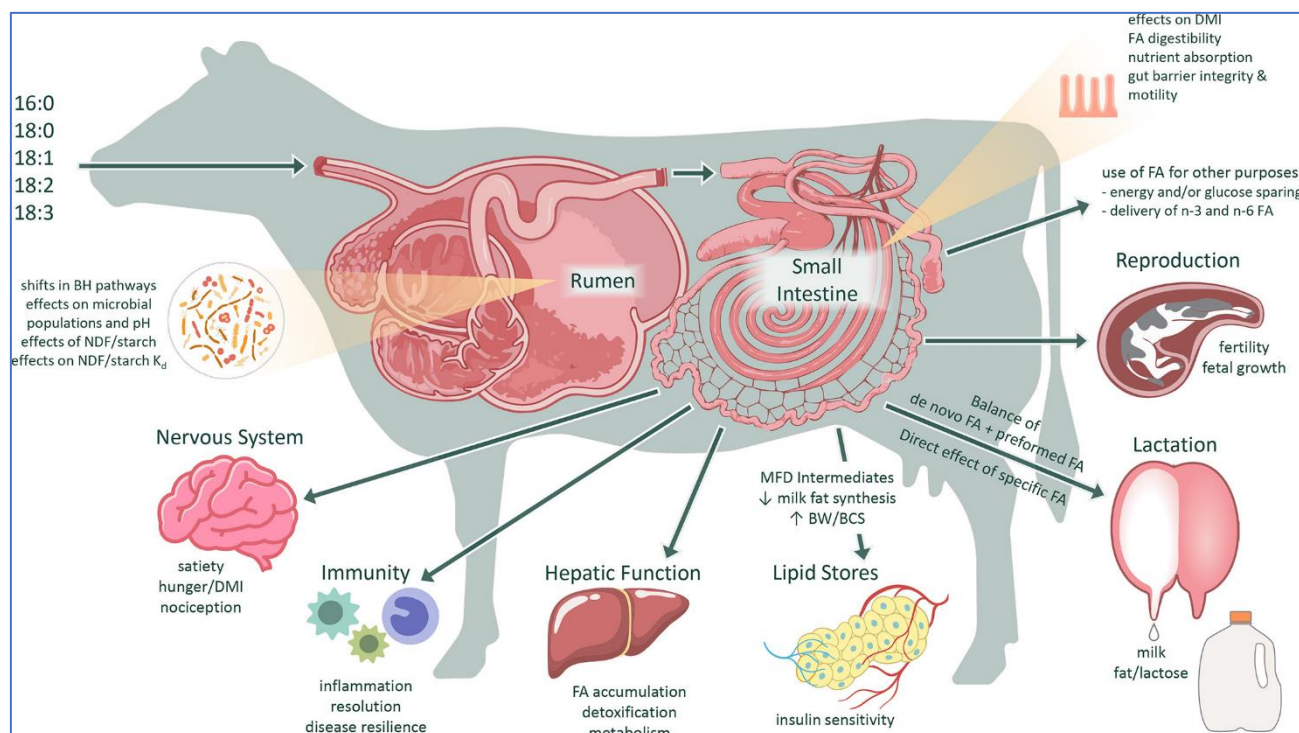


Figura 1 Representación esquemática del metabolismo de los AG dietéticos. Los ácidos: palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1), linoleico (18:2) y linolénico (18:3) son los principales AG presentes en el forraje, los concentrados y los suplementos suministrados a las vacas lecheras.

CONCLUSIONES Y DIRECCIONES FUTURAS

Nuestra revisión integra los avances recientes en la comprensión de las funciones específicas de los ácidos grasos (AG) en la nutrición, digestión y metabolismo de las vacas lecheras, ofreciendo información valiosa para optimizar las estrategias dietéticas y mejorar el rendimiento animal.

Se destaca la complejidad de la digestión y el metabolismo de los AG, subrayando la necesidad de **adaptar las estrategias de suplementación a la etapa productiva y el estado fisiológico específicos de las vacas lecheras**. Al igual que la industria láctea reconoce la importancia de los aminoácidos (AA) específicos y sus funciones únicas, ahora comienza a hacer lo mismo con los AG. La industria reconoce que **los AG son mucho más que simples fuentes de energía** y que cada AG puede desempeñar un papel crucial en los esfuerzos continuos por mejorar la producción de leche, la salud animal y la eficiencia y sostenibilidad del sector lácteo.

Destacamos los hallazgos recientes que cuestionan la creencia generalizada de que la suplementación con ácidos grasos (AG) reduce la digestibilidad de la fibra en vacas lecheras, demostrando, en cambio, que **el efecto depende del AG específico**. Si bien los AG de cadena media y los aceites vegetales disminuyen la digestibilidad de la fibra neutro detergente (FND), la administración de **suplementos enriquecidos con ácido palmítico (16:0) aumenta la digestibilidad de la FND en un promedio de 4,5 puntos porcentuales**. Estas mejoras no se deben a una menor ingesta, sino que podrían ser consecuencia de cambios en las poblaciones microbianas y el metabolismo bacteriano.

Dado que la fibra es un componente importante de la dieta de las vacas lecheras e influye directamente en el rendimiento animal, comprender los mecanismos por los cuales los AG pueden influir positiva o negativamente en la digestión de la fibra ampliará el conocimiento actual y mejorará las recomendaciones de alimentación.

La digestibilidad de los ácidos grasos (AG) en vacas lecheras generalmente disminuye a medida que aumentan la ingesta de AG y el flujo intestinal, particularmente en el caso del ácido **esteárico (18:0)**, que **muestra una fuerte correlación negativa con la digestibilidad**. La digestibilidad de los ácidos grasos se ve influenciada por el perfil de AG de la dieta/suplemento, así como por la forma física y la pureza del suplemento. Los suplementos con alto contenido de ácidos grasos saturados (AGS), especialmente las formas granuladas puras, suelen presentar menor digestibilidad debido a una emulsificación deficiente y a la formación de micelas. Los emulsionantes, como los polisorbatos y el ácido **oleico (18:1)**, mejoran la absorción de AG cuando se infunden en el abomaso, lo que sugiere que la emulsificación limitada es una barrera clave para la digestión de los AG. Además, la fuente de AG de 18 carbonos influye en la digestibilidad: las semillas oleaginosas presentan mayor digestibilidad que los suplementos de AG granulados. Dado que el ácido **esteárico (18:0)** es el principal AG

disponible para la absorción en vacas lecheras, mejorar su digestibilidad representa la vía más prometedora para optimizar la absorción de AG y el rendimiento general.

La elección del ácido graso (AG) a utilizar o suplementar en la alimentación de las vacas lecheras debe ajustarse estratégicamente según el nivel de producción, la etapa de lactancia y los objetivos de alimentación. La suplementación con ácido palmítico (16:0) mejora consistentemente la producción de grasa láctea y la leche corregida por energía (ECM), especialmente en vacas que producen hasta **45 kg/día de leche**. Sin embargo, **la suplementación durante el inicio de la lactancia, en el contexto de un aumento de la producción, puede conllevar una mayor pérdida de peso corporal.** La suplementación con ácido linoleico (18:1) mejora la digestibilidad del AG, el consumo de alimento durante el inicio de la lactancia, la sensibilidad a la insulina y la producción de leche, mostrando mayores beneficios en **vacas de alta producción (más de 45 kg/día)** cuando se combina con **palmítico (16:0)**. En general, el consumo de **palmítico (16:0)** se asocia positivamente con la distribución de energía hacia la leche, mientras que el consumo de **oleico (18:1)** **se asocia con la distribución de energía hacia las reservas corporales.** Por el contrario, las mezclas que contienen palmítico (16:0) más oleico (18:1) tienden a reducir la digestibilidad del AG, lo que resulta en beneficios de producción limitados o inconsistentes en comparación con otros suplementos de mayor digestibilidad.

Al alimentar con ácido oleico (18:1), es probable que la absorción de ácido esteárico (18:0) también aumente debido a la biohidrogenación ruminal (BH). Sin embargo, las diferentes respuestas productivas observadas al alimentar con **oleico (18:1)** en lugar de **esteárico (18:0)** indican que el factor principal que impulsa estos resultados es que el ácido **oleico (18:1)** que escapa a la biohidrogenación ruminal genera diferencias en la digestibilidad de los ácidos grasos y en su metabolismo postabsortivo en la glándula mamaria u otros tejidos.

En general, **aumentar los niveles de ácido palmítico (16:0) y ácido oleico (18:1), limitando el de ácido esteárico (18:0) en los suplementos de ácidos grasos, parece ser la estrategia más eficaz para mejorar la producción de leche, la utilización de nutrientes y el equilibrio metabólico.** En última instancia, la manipulación del equilibrio entre palmítico (16:0) y oleico (18:1) ofrece herramientas prometedoras para optimizar la producción de energía de la leche en relación con la condición corporal, lo que favorece el rendimiento y la salud durante las distintas etapas de la lactancia. Las investigaciones futuras deberían seguir perfeccionando las formulaciones dietéticas para optimizar la distribución de la energía, lo que podría mejorar la productividad y la salud metabólica durante las distintas etapas de la lactancia. Asimismo, la investigación debería centrarse en cómo equilibrar los ácidos grasos para maximizar la producción de grasa láctea y la salud, y en cómo mejorar los modelos de digestión, metabolismo y distribución de ácidos grasos para su aplicación práctica.