



Impacto de la suplementación con ácidos grasos omega-3 y omega-6 sobre la fisiología reproductiva y la fertilidad en bovinos (*Bos taurus*): revisión sistemática

Autor

Cristian David Carabali Carabali

**Título por el que opta
Médico veterinario**

Director

Karen Melissa Cardona

**Facultad de ciencias básicas
Medicina Veterinaria
Universidad Santiago de Cali
Santiago de Cali - Colombia
Año 2026**

IMPACTOS

Relacione el (los) impacto(s) que presentó el Trabajo de Grado según los siguientes criterios:

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
Científico	Revisión sistemática que integra evidencia sobre ácidos grasos omega-3 y omega-6 en la reproducción bovina, aporta bases para optimizar la fertilidad y orientar futuras investigaciones y estrategias nutricionales en sistemas lecheros.	Comunidad científica. Comunidad veterinaria y zootecnista

IMPACTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 Y OMEGA-6 SOBRE LA FISIOLOGÍA REPRODUCTIVA Y LA FERTILIDAD EN BOVINOS (*Bos taurus*): REVISIÓN SISTEMÁTICA

Cristian David Carabali Carabali cristian.carabali01@usc.edu.co

¹Grupo de Investigación GIMIA, Programa de medicina veterinaria. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

RESUMEN

La eficiencia reproductiva en sistemas de producción de leche, especialmente en vacas de alto rendimiento (*Bos taurus*), desempeña un papel fundamental en la sostenibilidad económica de estos sistemas. Sin embargo, esta se ve comprometida por factores como el balance energético negativo durante el periodo de transición lo cual afecta la función ovárica y disminuye la fertilidad. En este contexto, los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y omega-6 han sido propuestos como moduladores nutricionales de la fisiología reproductiva. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de la suplementación con estos ácidos grasos sobre la fisiología y la fertilidad en bovinos lecheros (*Bos taurus*). Para ello, se realizó una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA, mediante la búsqueda de literatura científica publicada entre 2016 y 2026 en bases de datos especializadas (PubMed, Scopus, Scielo, Web of Science y Google Scholar); en esta revisión se incluyeron ensayos clínicos controlados, estudios experimentales o revisiones sistemáticas. Los resultados evidenciaron que los ácidos grasos omega-3 contribuyen a mejorar la tasa de concepción, la supervivencia embrionaria y la función luteal. Por su parte, los omega6 favorecen la ciclicidad ovárica y la ovulación dependiendo de la dosis. Asimismo, se identificó que la respuesta reproductiva depende del equilibrio entre ambos tipos de ácidos grasos, así como del estado fisiológico y metabólico de los animales. En este sentido, la suplementación con omega-3 y omega-6 puede tener efectos positivos sobre la reproducción bovina, siempre que se mantenga un balance adecuado que favorezca la optimización de la fertilidad.

Palabras clave: Reproducción; dieta; nutrición; ciclicidad ovárica.

IMPACT OF OMEGA-3 AND OMEGA-6 FATTY ACID SUPPLEMENTATION ON REPRODUCTIVE PHYSIOLOGY AND FERTILITY IN CATTLE (*Bos taurus*): A SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT

Reproductive efficiency in dairy production systems, especially in high-producing cows (*Bos taurus*), plays a fundamental role in the economic sustainability of these systems. However, it is compromised by factors such as negative energy balance during the transition period, which affects ovarian function and reduces fertility. In this context, omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids have been proposed as nutritional modulators of reproductive physiology. The aim of this study was to evaluate the impact of supplementation with these fatty acids on reproductive physiology and fertility in dairy cattle (*Bos*

taurus). To this end, a systematic review was conducted following PRISMA guidelines, through a search of scientific literature published between 2016 and 2026 in specialized databases (PubMed, Scopus, Scielo, Web of Science, and Google Scholar); this review included controlled clinical trials, experimental studies, and systematic reviews. The results showed that omega-3 fatty acids contribute to improving conception rate, embryonic survival, and luteal function. In contrast, omega-6 fatty acids promote ovarian cyclicity and ovulation depending on the dose. Furthermore, it was identified that the reproductive response depends on the balance between both types of fatty acids, as well as the physiological and metabolic status of the animals. In this regard, supplementation with omega-3 and omega-6 may have positive effects on bovine reproduction, provided that an adequate balance is maintained to optimize fertility.

Keywords: Reproduction; diet; nutrition; ovarian cyclicity.

HIGHLIGHTS

Los ácidos grasos omega-3 modulan la función luteal mediante un efecto antiluteolítico asociado a la reducción de PGF2 α .

Los omega-6 participan en la activación de la ciclicidad ovárica, con efectos dependientes de la dosis y del estado inflamatorio.

La relación omega-6: omega-3 emerge como el principal regulador nutricional de la respuesta reproductiva en vacas lecheras.

El impacto de la suplementación lipídica está condicionado por el estado fisiológico, especialmente durante el periodo de transición y el balance energético negativo.

1 INTRODUCCIÓN

La eficiencia reproductiva en vacas lecheras (*Bos taurus*) constituye un componente crítico y fundamental para la sostenibilidad y rentabilidad de los sistemas de producción (Palmquist, & Jenkins., 2017) ya que influye directamente en la producción de leche, la reposición de animales y la eficiencia económica del sistema (Santos et al., 2016). Por ende, la disminución en la tasa de concepción, el intervalo entre partos y la presencia de anestro posparto representan límites importantes en el desempeño productivo y reproductivo de los rebaños lecheros (Mariscal-Aguayo et al., 2016).

En este contexto el balance energético negativo (BEN) es uno de los principales factores claves asociados a las alteraciones reproductivas, el cual ocurre generalmente en el periodo de transición, (gestación – lactancia) consecuente de la alta demanda energética para la síntesis láctea (Roche et al., 2017). Este desbalance energético por lo general suele regularse en 6-8 semanas posteriores a parto, lo que se ha asociado con un aumento en el intervalo desde el parto hasta la primera ovulación y una disminución en las tasas de concepción (Subramaniam et al., 2016).

Más allá de los trastornos metabólicos, el BEN también afecta la función inmunológica (Ghorbanalinia et al., 2026). Este estado compromete la función ovárica, altera la secreción hormonal y reduce la calidad ovocitaria, afectando negativamente la fertilidad (Wiltbank et al., 2016). Por ello, la nutrición se ha consolidado como una herramienta clave para modular la fisiología reproductiva, no solo mediante el aporte energético, sino también a través de nutrientes que cumplen con funciones específicas sobre

procesos celulares y endocrinos; la esteroidogénesis, la síntesis de prostaglandinas y la señalización celular en ovario y útero son unas de estas (Zeng et al., 2023).

Dentro de estos nutrientes, los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), principalmente el ácido araquidónico (C20:4n-6) y el ácido eicosapentaenoico (C20:5n-3), han sido objeto de estudio durante varios años debido a su efecto en la producción de leche y reproducción en vacas (Garza et al., 2023). Se ha comprobado que tienen influencia en procesos reproductivos esenciales como el crecimiento folicular, la tasa de concepción, la ovulación y la regulación del balance energético negativo (Castro et al., 2019; Domínguez et al., 2017). Además, su suplementación en etapas tempranas favorece el desarrollo del sistema nervioso, mientras que en animales adultos contribuye a mejorar la producción, la reproducción y la prevención de enfermedades (León, 2022). Estos ácidos grasos también actúan como precursores de eicosanoides, incluidas las prostaglandinas, las cuales desempeñan un papel fundamental en la ovulación, la luteólisis y el establecimiento de la gestación (Cholewski et al., 2018).

Los omega-3, presentes en fuentes como el aceite de pescado y la linaza, han demostrado efectos antiinflamatorios y una mejora en los resultados reproductivos al modular la síntesis de prostaglandinas y la función uterina lo que favorece la persistencia del cuerpo lúteo y mejora la supervivencia embrionaria en vacas lecheras (Ghorbanalinia et al., 2026). Por otro lado, los omega-6 presentes en aceites vegetales principalmente, se relacionan con el desarrollo folicular y la producción de estradiol, aunque su efecto sobre la fertilidad puede variar dependiendo del balance entre ambos tipos de ácidos grasos en la dieta (Ribeiro et al., 2021).

En múltiples estudios se ha registrado que la suplementación con PUFA mejora los parámetros reproductivos y productivos en los sistemas lecheros, la tasa de concepción y el intervalo entre parto son algunos de estos, su efecto se ve más marcado principalmente en animales sometidos a estrés metabólico (Greco et al., 2018; Sinedino et al., 2017). No obstante, los resultados reportados en la literatura presentan una alta variabilidad, atribuida a diferencias en las fuentes de suplementación, niveles de inclusión, duración de los tratamientos y condiciones productivas de los animales (Santos et al., 2016).

A pesar de estos avances, persiste una falta de consenso respecto a las dosis óptimas, la relación ideal entre omega-3 y omega-6, y su efectividad en condiciones productivas reales, lo que condiciona su aplicación práctica en sistemas lecheros. Por lo tanto, la presente revisión tuvo como objetivo evaluar de manera crítica el impacto de la suplementación con ácidos grasos omega-3 y omega-6 sobre la fisiología reproductiva y la fertilidad en vacas lecheras (*Bos taurus*), mediante el análisis de estudios experimentales y clínicos publicados entre 2016 y 2026, con el fin de identificar sus efectos sobre los parámetros reproductivos y su aplicabilidad en sistemas de producción lechera.

2 METODOLOGÍA

Para garantizar la transparencia y rigurosidad científica de este estudio, esta revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo las directrices establecidas por PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021). Con un enfoque metodológico centrado en analizar la evidencia científica disponible sobre el impacto de la suplementación con ácidos grasos omega-3 y omega-6 en la fisiología reproductiva y la fertilidad en vacas lecheras (*Bos taurus*), considerando estudios experimentales, clínicos y revisiones sistemáticas.

2.1 Búsqueda bibliográfica y criterios de inclusión y exclusión

Con el objetivo de identificar evidencia científica relevante relacionada con la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), específicamente omega-3 y omega-6, y sus efectos sobre la fisiología

reproductiva y la fertilidad en bovinos, se realizó una búsqueda de publicaciones entre 2016 y 2026. Para asegurar la inclusión de información actualizada. Se incluyeron artículos en inglés, español y portugués, empleando descriptores específicos combinados mediante operadores Booleanos (AND, OR).

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en bases de datos científicas reconocidas, tales como PubMed, Scopus, Web of Science, Scielo y Google Académico. Para ampliar el alcance y la precisión de los resultados, se incorporaron descriptores en inglés como “dairy cows”, “cattle”, “omega-3 fatty acids”, “omega-6 fatty acids”, “PUFA”, “linseed”, “fish oil”, “reproduction”, “fertility”, “pregnancy rate” y “hormonal function”, los cuales fueron combinados estratégicamente mediante operadores booleanos. Adicionalmente, se consultaron repositorios institucionales de acceso abierto con el fin de incluir tesis y otros documentos relevantes. Una vez obtenidos los registros, estos fueron organizados en una base de datos y sometidos a un proceso de depuración, eliminando duplicados mediante revisión manual.

En cuanto a los criterios de inclusión, se consideraron estudios que cumplieran con las siguientes características: investigaciones realizadas en bovinos, principalmente vacas lecheras (*Bos taurus*); ensayos clínicos controlados, estudios experimentales o revisiones sistemáticas; evaluaciones de la suplementación con ácidos grasos omega-3 y/o omega-6 en relación con desenlaces reproductivos; y artículos publicados en inglés, español o portugués.

Por otro lado, se excluyeron estudios realizados en especies distintas a bovinos o que no presentaran similitud fisiológica relevante. Asimismo, no se consideraron reportes con evidencia subjetiva, comunicaciones breves, artículos sin revisión por pares ni revisiones narrativas que no aportaran datos experimentales o cuantificables. También se descartaron trabajos con información incompleta, sin acceso a texto completo o que no describieron de manera clara la intervención y los resultados reproductivos evaluados.

El proceso de selección se desarrolló en tres fases. Inicialmente, se efectuó una revisión de títulos y resúmenes con el fin de identificar la pertinencia temática de los estudios en relación con los objetivos planteados. En una segunda etapa, los artículos preseleccionados fueron analizados a texto completo para verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión establecidos. Finalmente, se llevó a cabo una selección definitiva de aquellos estudios que aportaron evidencia experimental u observacional sobre los efectos de la suplementación con ácidos grasos en la fisiología reproductiva y la fertilidad en vacas (*Bos taurus*).

3 DESARROLLO Y DISCUSIÓN

La búsqueda sistemática de literatura científica permitió identificar un total de 1222 artículos potencialmente relevantes, obtenidos a partir de cinco bases de datos reconocidas: PubMed (n = 325), Scopus (n = 166), Scielo (n = 198), Web of Science (n = 235) y Google Scholar (n = 298). Esta estrategia de búsqueda amplía permitió abarcar una diversidad considerable de estudios relacionados con la suplementación de ácidos grasos y su impacto en la fisiología reproductiva bovina.

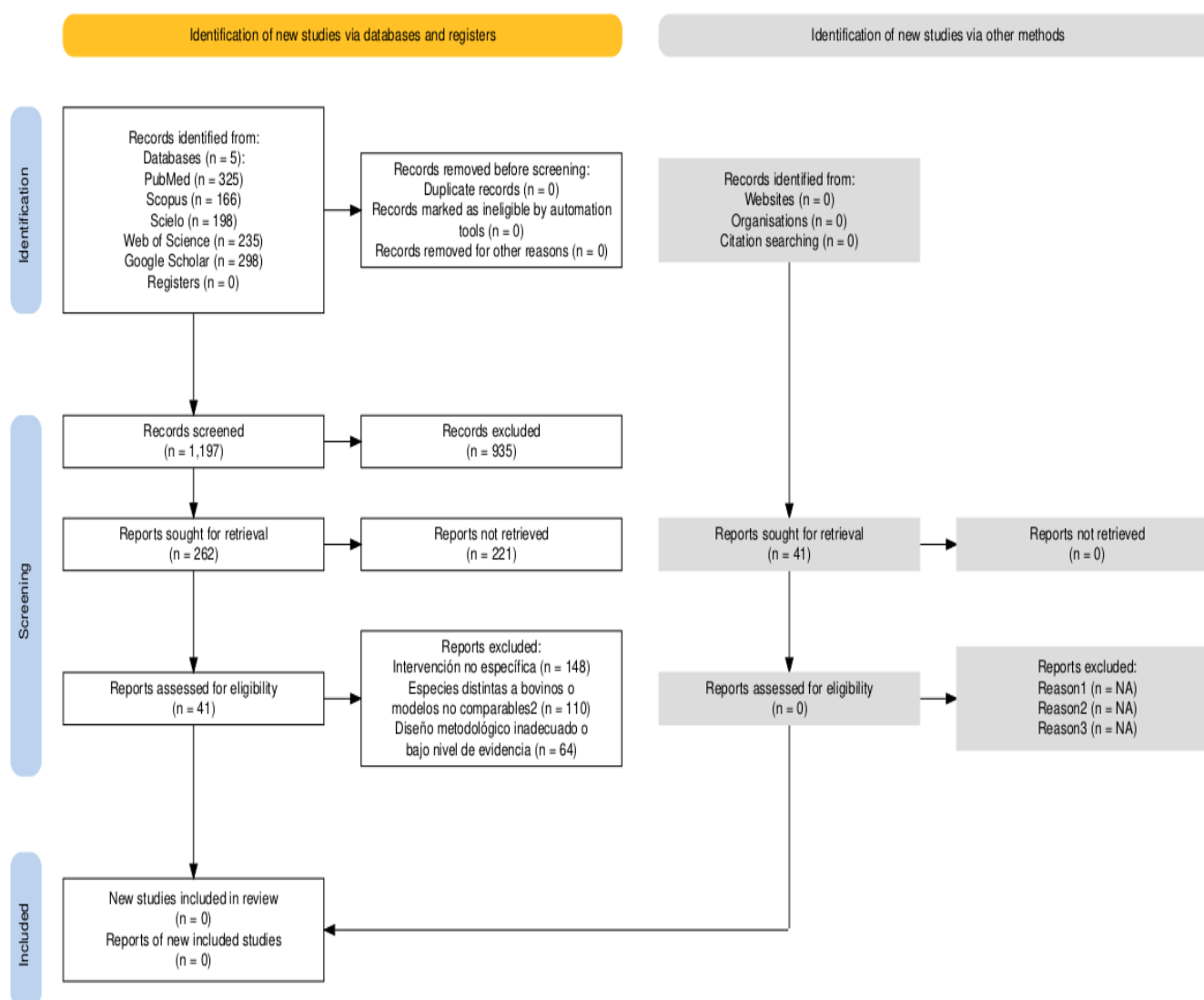
En la fase inicial, se realizó la eliminación de 25 registros duplicados, obteniéndose un total de 1197 estudios únicos. Posteriormente, estos registros fueron sometidos a un proceso de cribado mediante la revisión de títulos y resúmenes, con el fin de evaluar su pertinencia en relación con los objetivos de la revisión. En esta etapa, se excluyeron 935 estudios que no cumplieran con los criterios temáticos o metodológicos establecidos. Las principales razones de exclusión incluyeron: estudios en especies distintas a bovinos, ausencia de variables reproductivas, revisiones narrativas, editoriales, cartas al editor y documentos sin acceso a texto completo.

Tras este primer filtro, 262 artículos fueron considerados potencialmente elegibles y evaluados a texto completo. Durante esta fase, se excluyeron 222 estudios adicionales, principalmente por no presentar información clara sobre la intervención con ácidos grasos, no reportar desenlaces reproductivos relevantes o presentar limitaciones metodológicas significativas.

Finalmente, un total de 41 estudios cumplieron con todos los criterios de inclusión y fueron incorporados en la síntesis cualitativa de la presente revisión sistemática. Este conjunto de estudios constituye una base sólida y representativa de la evidencia científica disponible, permitiendo un análisis integral de los efectos de la suplementación con ácidos grasos omega-3 y omega-6 sobre la fisiología hormonal y la eficiencia reproductiva en vacas; este proceso se evidencia en la figura 1.

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA



Una vez definidos los 41 estudios incluidos, se procedió a la síntesis de la evidencia mediante un enfoque narrativo y comparativo, complementado con la elaboración de tablas que facilitaron la organización, integración y visualización de los hallazgos. Este enfoque permitió analizar de manera estructurada estudios con diseños experimentales heterogéneos, diferentes fuentes de suplementación lipídica y condiciones fisiológicas variables.

A través de este proceso, fue posible identificar patrones consistentes y tendencias generales en relación con los efectos de la suplementación con ácidos grasos omega-3 y omega-6 sobre la fisiología reproductiva y la fertilidad en vacas lecheras. En particular, la comparación sistemática de variables clave como el tipo de ácido graso, su mecanismo de acción y los desenlaces reproductivos evaluados (tasa de concepción, tasa de preñez, calidad embrionaria e intervalo parto-concepción), permitió reconocer relaciones claras entre los distintos enfoques experimentales.

En este sentido, se evidenció un patrón recurrente en el que los ácidos grasos omega-3 se asocian con efectos antiluteolíticos, moduladores de la respuesta inflamatoria y promotores de la viabilidad embrionaria. Estos efectos se encuentran estrechamente relacionados con la reducción en la síntesis de prostaglandina $F2\alpha$ y la mejora en la estabilidad del cuerpo lúteo, lo que favorece el establecimiento y mantenimiento de la gestación. Por su parte, los ácidos grasos omega-6 mostraron una acción más vinculada con la activación de la ciclicidad ovárica y la síntesis de prostaglandinas, con efectos que dependen tanto de su concentración como del equilibrio con los omega-3.

De manera transversal, se identificó que el estado fisiológico del animal, particularmente durante el periodo de transición y en condiciones de balance energético negativo, actúa como un factor determinante en la magnitud y dirección de la respuesta a la suplementación lipídica. En estos escenarios, las alteraciones metabólicas y endocrinas propias del posparto modulan la utilización de los ácidos grasos y condicionan su impacto sobre la función reproductiva.

En conjunto, estos hallazgos evidencian que los efectos de los ácidos grasos poliinsaturados sobre la reproducción bovina no deben interpretarse de forma aislada, sino como el resultado de interacciones complejas entre nutrición, metabolismo y regulación endocrina. Este enfoque integrador permite comprender mejor la variabilidad observada entre estudios y refuerza la necesidad de diseñar estrategias nutricionales ajustadas al contexto productivo y fisiológico de los animales.

3.1 Bases fisiológicas de los ácidos grasos en la reproducción bovina

De acuerdo con Castro (2019) el ácido araquidónico ($C20:4n-6$) y el ácido eicosapentaenoico ($C20:5n-3$) son los ácidos grasos de mayor relevancia dentro los procesos reproductivos. Ambos se sintetizan a partir de ácido linoleico ($C18:2n-6$) y α -linolénico ($C18:3n-3$) en una serie de etapas que implican desaturación y elongación. Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) desempeñan un papel central en la fisiología reproductiva bovina, actuando como moduladores estructurales, metabólicos y endocrinos. A nivel celular, su incorporación en las membranas fosfolipídicas altera propiedades críticas como la fluidez, la organización de microdominios lipídicos y la actividad de receptores de membrana, lo cual repercute directamente en procesos como la maduración ovocitaria, la fecundación y la señalización intracelular (kraisoon et al., 2018).

Desde su funcionalidad, los AGPI no solo constituyen una fuente concentrada de energía, sino también potentes moléculas de señalización biológica al ser precursores de eicosanoides, incluyendo prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos (Fabjanowska et al., 2023), compuestos que regulan eventos clave del ciclo estral. En este contexto, Los ácidos grasos omega-6 (principalmente el ácido linoleico) favorecen la síntesis de ácido araquidónico, precursor directo de la prostaglandina $F2\alpha$ ($PGF2\alpha$), hormona responsable de la luteólisis y del reinicio del ciclo ovárico (Dirandeh, 2021). Kang et al. (2026) resalta que un exceso en la ingesta de estos AGPI puede incrementar la producción de $PGF2\alpha$, promoviendo luteólisis prematura y acortando la duración del ciclo estral.

En contraste, los ácidos grasos omega-3, como el ácido α -linolénico (ALA), el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA), compiten con los omega-6 por las enzimas ciclooxigenasa

(COX) y lipooxigenasa (LOX), reduciendo la síntesis de eicosanoides proinflamatorios derivados del ácido araquidónico. Este mecanismo no solo disminuye la producción de $\text{PGF2}\alpha$, sino que también genera un efecto antiluteolítico que favorece el mantenimiento del cuerpo lúteo (CL), condición esencial para el reconocimiento materno de la gestación (Domínguez et al., 2017; Kang et al., 2026). Como consecuencia, se establece un entorno uterino menos inflamatorio y más propicio para la implantación embrionaria.

Además, los AGPI ejercen efectos a nivel genómico, modulando la expresión de genes relacionados con la esteroidogénesis, la función luteal y la señalización hormonal (Santos et al., 2016). Este efecto se encuentra estrechamente ligado a la capacidad de los omega-3 para estabilizar la función luteal al reducir la señal luteolítica mediada por $\text{PGF2}\alpha$; en conjunto, estos mecanismos evidencian que los AGPI no solo actúan como nutrientes energéticos, sino como reguladores clave del eje hipotálamo-hipófisis-ovario.

3.2 Efecto de los ácidos grasos omega-3 en la reproducción

Los AGPI n-3 pertenecen a una familia de ácidos grasos biológicamente activos. Son esenciales, ya que los mamíferos no pueden sintetizarlos y deben ser introducidos en el organismo a través de la dieta (Elis et al., 2016).

La suplementación con ácidos grasos omega-3 ha sido consistentemente asociada con mejoras en la eficiencia reproductiva bovina, aunque con variabilidad dependiente del contexto fisiológico, productivo (Domínguez et al., 2017) y de diferentes aspectos inmunitario, estos generalmente son dependiente de la dosis y la fuente de estos ácidos (Kra et al., 2021). Según Fabjanowska et al. (2023). La presencia de ácidos grasos poliinsaturados de la familia n-3 afecta positivamente al organismo del animal, concretamente, entre otras cosas, a su crecimiento y desarrollo, pero Pereira et al. (2021) menciona que la suplementación con PUFA n-3 puede tener el efecto indeseado de prolongar un estado de resistencia a la insulina y movilización de lípidos.

Los ácidos grasos n-3 afectan la actividad de las membranas celulares y promueven la interacción de las enzimas actuando como intermediarios en las reacciones enzimáticas (Haubold et al., 2020), a su vez los ácidos poliinsaturados de cadena larga son los constituyentes básicos de los glicerofosfolípidos y esfingolípidos que se encuentran en la membrana plasmática (Lordan & Blesso, 2023); Estos ácidos grasos desempeñan un papel vital en la integridad estructural, la fluidez de la membrana y la transducción de señales (Plewes et al., 2017).

En el ámbito reproductivo, estudios han demostrado que la suplementación con fuentes ricas en omega3, como aceite de pescado y linaza, modifica la composición lipídica del ovocito y del embrión, mejorando su competencia de desarrollo y viabilidad (Greco et al., 2018). Esta modificación lipídica favorece la estabilidad de membranas y reduce la susceptibilidad al estrés oxidativo (Sinedino et al., 2017).

Por otra parte Chiroque (2024) estudió los efectos de la suplementación del aceite de semillas de Huayllabamba y Zapallo en vacas Holstein, las cuales tienen una alta concentración de omegas 3, 6 y 9. En este se reporta varios efectos positivos tras administración intramuscular de 2 ml este aceite por cada 100 kg de peso vivo, entre estos está el aumento de las concentraciones de progesterona en los días 10 y 15 y de β estradiol en el día 21, también se registró una alta tasa de concepción del 88.89% ($p < 0.05$) y se observó en un ciclo estral normal.

En esta línea, Freret Et al. (2019) demostraron en vacas lecheras que la suplementación con PUFAs n-3 genera efectos biológicos aceptables, puede modificar el perfil lipídico del fluido folicular, mejorar los

marcadores de calidad ovocitaria y aumentar la proporción de blastocistos de buena calidad en protocolos de producción de embriones in vitro.

Uno de los efectos más relevantes de los n-3 es la inhibición de la síntesis de $\text{PGF2}\alpha$, lo que contribuye a prolongar la vida media del cuerpo lúteo y aumentar la secreción de progesterona, favoreciendo la supervivencia embrionaria temprana (Dirandeh, 2021). Por otro lado, Sánchez et al. (2025) menciona que a nivel endometrial, se ha demostrado que el ácido docosahexaenoico (DHA), ejerce efectos inmunomoduladores al reducir la expresión de mediadores proinflamatorios como IL-6 y PTGS2, así como la activación de vías de señalización intracelular asociadas a la inflamación, como ERK1/2 y Akt. Asimismo, promueve la síntesis de mediadores pro-resolutivos como la resolvina D1 (RvD1), favoreciendo la resolución de la respuesta inflamatoria. De manera interesante, el DHA puede incrementar la producción de quimioatrayentes como CXCL8, lo que sugiere que modula la inflamación sin comprometer los mecanismos de defensa innata.

A su vez, estos efectos resultan particularmente críticos durante el período de reconocimiento materno de la gestación ya que regulan la liberación de radicales libres en el tracto reproductivo, creando un ambiente más favorable para la implantación y reduciendo la pérdida embrionaria (Fabjanowska et al., 2023). Sin embargo, la magnitud de estos efectos puede variar considerablemente, ya que la respuesta a la suplementación depende de factores como la condición corporal y el balance energético negativo durante el posparto y el periodo de transición, donde la alteración del metabolismo lipídico y la alta demanda energética pueden limitar la eficiencia de utilización de estos ácidos grasos, generando una importante variabilidad interindividual (Santos et al., 2016).

3.3 Efecto de los ácidos grasos omega-6 en la reproducción

Los ácidos grasos omega-6 cumplen un rol fisiológico esencial en la regulación del ciclo reproductivo bovino, principalmente a través de su participación en la síntesis de prostaglandinas. El ácido linoleico, principal representante de esta familia, es precursor directo de la $\text{PGF2}\alpha$, lo que lo convierte en un componente clave en la luteólisis y la reanudación de la ciclicidad ovárica (Dirandeh, 2021). En este sentido, su suplementación puede ser beneficiosa en vacas en anestro posparto, estimulando la actividad ovárica y la ovulación.

No obstante, este efecto presenta una naturaleza dual. Aunque niveles adecuados favorecen la dinámica folicular, un exceso de omega-6 puede inducir un estado proinflamatorio sistémico, aumentando la síntesis de eicosanoides inflamatorios y afectando negativamente la supervivencia embrionaria (Santos et al., 2016). Por tanto, el impacto de los omega-6 no debe evaluarse de forma aislada, sino en función de su interacción con los omega-3, lo que refuerza el concepto de equilibrio lipídico.

De forma complementaria, Cooke, (2019) ha explorado los efectos de la suplementación con fuentes de omega-6 (por ejemplo, sales de calcio de aceite de soja, CSSO) aplicada durante el periodo periinseminación, este estudio con bovinos, mostró un aumento de la tasa de preñez y evidencias biológicas (mayor longitud del concepto, mayor expresión de interferón- τ) que sugieren mejora en el establecimiento temprano de la preñez (Capriano et al., 2016). Aun así, estos efectos dependen de la fuente (por ejemplo, aceite protegido vs aceite no protegido), dosis, duración y del estado fisiológico y nutricional de las vacas.

En este contexto, se presenta una síntesis de los principales mecanismos de acción se presenta en la Tabla 1, donde también se observan sus efectos fisiológicos en la reproducción.

TABLA 1 Efectos fisiológicos y mecanismos de acción de los AGPI (omega-3 y omega-6) en la reproducción bovina

Tipo de AGPI	Mecanismo de acción	Impacto reproductivo	Autores
Omega-6	Precursor de ácido araquidónico → ↑ PGF2α	Induce luteólisis y ↑ reinicio del ciclo estral	Dirandeh et al. (2021); Greco et al. (2018); Kang et al. (2026)
Omega-3	Competencia enzimática (COX/LOX) → ↓ PGF2α	Efecto antiluteolítico, mantenimiento del cuerpo lúteo	Kang et al. (2026); Kraisoon et al. (2018)
Omega-3	↓ eicosanoides proinflamatorios	Ambiente favorable para implantación embrionaria	Domínguez et al. (2017); Fabjanowska et al. (2023); Zeng et al. (2023)
Omega-6	↑ mediadores inflamatorios	Puede afectar negativamente la implantación si hay exceso	Dirandeh et al. (2021); Cooke (2019)
Omega-3	Mejora metabolismo celular señalización	Mayor calidad y viabilidad y embrionaria	Freret et al. (2019); Garza et al. (2023); Ribeiro et al. (2016)
Omega-6	Participación en desarrollo embrionario temprano	Apoyo en etapas iniciales de gestación	Cooke (2019)
Omega-3	Influencia en esteroidogénesis → ↑ progesterona	Favorece establecimiento y mantenimiento de gestación	Santos et al. (2016); Sinedino et al. (2017)
AGPI (general)	Incorporación en membranas → ↑ fluidez y receptores	Mejora función ovocitaria y luteal	Plewes et al. (2017); Kraisoon et al. (2018); Cholewski et al. (2018)
Omega-3	Modulación de expresión génica en tejido adiposo	Adaptación metabólica en transición	Ghorbanalinia et al. (2026); Dirandeh et al. (2021)
Omega-3	Efecto antiinflamatorio sistémico	Mejora salud uterina y fertilidad	Kra et al. (2021); Moallem (2018); Fabjanowska et al. (2023)
AGPI	Interacción	Influencia global en	Roche et al. (2017);

(general)	energía-		Wiltbank et al. (2016);
	reproducción	eficiencia	Palmquist & Jenkins (2017)
		reproductiva	

3.4 Relación omega-6 y omega-3 como eje regulador

Más que la suplementación individual, la relación omega-6 y omega-3 emerge como el principal modulador de la respuesta reproductiva. El equilibrio entre los ácidos grasos omega-6 y omega-3 resulta determinante para la regulación endocrina reproductiva. Relaciones elevadas de omega-6 favorecen un estado proinflamatorio mediante el aumento de $\text{PGF2}\alpha$, mientras que una mayor proporción de omega-3 promueve un entorno antiinflamatorio y luteotrófico (Greco et al., 2018).

En estudios realizados por (Sinedino, 2017; Silvestre, 2011, citados por Greco et al., 2018) se ha demostrado que una relación equilibrada mejora significativamente la regulación endocrina reproductiva, la tasa de concepción y reduce la mortalidad embrionaria. Este balance adquiere especial relevancia en vacas de alta producción, donde el estrés metabólico, la lipomovilización y el estado inflamatorio subclínico afectan negativamente la fertilidad. En este contexto, la manipulación de la relación omega-6 y omega-3 representa una herramienta nutricional estratégica.

Siguiendo esta línea, es importante considerar que los ácidos grasos omega-3 y omega-6 no ejercen los mismos efectos, ya que participan en procesos fisiológicos distintos e incluso opuestos en algunos casos. Estas diferencias permiten entender mejor su papel dentro de la regulación reproductiva. Lo anterior se evidencia en la Tabla 2 en la que se comparan sus principales efectos.

TABLA 2 Comparación de los efectos fisiológicos de los ácidos grasos omega-3 y omega-6 en la reproducción bovina

Criterio de comparación	Omega-6 (n-6)	Omega-3 (n-3)	Autores de referencia
Precursor metabólico	Ácido araquidónico	EPA y DHA	Castro et al. (2019); Cholewski et al. (2018)
Tipo de eicosanoides producidos	Proinflamatorios ($\text{PGF2}\alpha$)	Menos inflamatorios / moduladores	Cooke (2019); Fabjanowska et al. (2023)
Efecto sobre $\text{PGF2}\alpha$	$\uparrow$ síntesis de $\text{PGF2}\alpha$	$\downarrow$ síntesis de $\text{PGF2}\alpha$ (competencia enzimática)	Greco et al. (2018); Kang et al. (2026)
Efecto sobre el cuerpo lúteo	Induce luteólisis	Mantiene el cuerpo lúteo	Santos et al. (2016); Kraisoon et al. (2018)
Inflamación uterina	Aumenta respuesta inflamatoria	Reduce inflamación	Domínguez et al. (2017); Zeng et al. (2023)
Ambiente uterino	Puede ser menos favorable si hay exceso	Favorece implantación embrionaria	Fabjanowska et al. (2023)

Desarrollo embrionario	Participa en etapas tempranas	Mejora calidad y viabilidad embrionaria	Cooke (2019); Freret et al. (2019); Garza et al. (2023)
Producción de progesterona	Puede disminuir indirectamente	Favorece síntesis de progesterona	Santos et al. (2016); Sinedino et al. (2017)
Regulación génica	Modulación limitada (dependiente del contexto)	Modula expresión génica metabólica	Dirandeh et al. (2021); Ghorbanalinia et al. (2026)
Sistema inmune	Proinflamatorio	Antiinflamatorio	Moallem (2018); Kra et al. (2021)
Impacto global en fertilidad	Variable (dependiente del exceso)	Generalmente positivo	Roche et al. (2017); Wiltbank et al. (2016)
Relación nutricional (n-6:n-3)	Exceso puede ser perjudicial	Balance adecuado mejora fertilidad	Greco et al. (2018); Castro Berman (2024)

3.5 Parámetros reproductivos

La evidencia científica indica que los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) ejercen efectos moduladores sobre múltiples indicadores reproductivos en vacas (*Bos Taurus*), a través de mecanismos que involucran la regulación endocrina, la señalización celular y la modulación del ambiente uterino; estos efectos están mediados principalmente por su papel como precursores de eicosanoides y por su capacidad de influir en la expresión génica y la función luteal (Moallem, 2018; Roche et al., 2017).

En este sentido, los ácidos grasos actúan como precursores metabólicos y moduladores de la función celular, influyendo tanto en la proliferación como en la capacidad esteroidogénica de las células de la granulosa, estas células son responsables de la síntesis de hormonas esteroides como el estradiol y la progesterona, especialmente previo a la ovulación, mientras que tras la luteinización contribuyen a la formación del cuerpo lúteo y la secreción de progesterona hormona fundamental para el mantenimiento de la gestación (Zeng et al. 2023).

No obstante, los efectos de los ácidos grasos sobre la esteroidogénesis dependen del tipo y la concentración. Por ejemplo, el ácido oleico (OA) ha mostrado resultados variables, pudiendo aumentar la síntesis de estradiol, pero también generar efectos adversos sobre la morfología y función celular en condiciones experimentales. Por su parte, el ácido araquidónico (ARA) presenta un efecto dependiente de la dosis, donde concentraciones bajas favorecen la viabilidad celular, mientras que niveles elevados pueden suprimir la síntesis de estradiol y alterar el equilibrio hormonal. Estos hallazgos evidencian que la respuesta biológica a los ácidos grasos está determinada por una interacción compleja entre tipo, dosis y contexto fisiológico (Zeng et al. 2023).

3.5.1 Tasa de concepción

La tasa de concepción se define como la proporción de hembras que logran establecer una gestación tras un servicio o inseminación, constituyendo uno de los indicadores más sensibles de la eficiencia reproductiva en bovinos lecheros. Este parámetro integra múltiples procesos fisiológicos, incluyendo la

calidad ovocitaria, la fertilización, el desarrollo embrionario temprano y la capacidad del ambiente uterino para sostener la gestación (Diskin & Kenny, 2016; Lucy et al., 2019).

En este contexto, diversos estudios han demostrado que los ácidos grasos poliinsaturados n-3 (AGPI n3) pueden mejorar la tasa de concepción al favorecer un entorno uterino más estable y menos inflamatorio, además de optimizar la calidad ovocitaria y embrionaria (Greco et al., 2018; Sinedino et al., 2017). Este efecto se relaciona con la reducción en la síntesis de prostaglandina $F2\alpha$ ($PGF2\alpha$), lo que contribuye a evitar la luteólisis temprana y favorece el mantenimiento del cuerpo lúteo durante el periodo crítico de reconocimiento materno de la gestación (Dirandeh, 2021; Kang et al., 2026). Adicionalmente, los omega3 mejoran la composición lipídica de las membranas celulares del ovocito y del embrión, incrementando su competencia de desarrollo y capacidad de implantación (Ribeiro et al., 2016; Freret et al., 2019). Por otra parte, se ha sugerido que los AGPI n-3 también ejercen efectos indirectos sobre la tasa de concepción mediante la modulación de la respuesta inflamatoria sistémica y la mejora del estado metabólico durante el periodo posparto, lo que favorece la sincronización entre el ambiente uterino y el desarrollo embrionario (Silvestre et al., 2011; Thatcher et al., 2016).

En contraste, los AGPI n-6 presentan efectos más variables. Si bien pueden estimular la actividad ovárica y la ovulación mediante el aumento de la síntesis de eicosanoides, su exceso puede generar un ambiente proinflamatorio que compromete la viabilidad embrionaria y reduce la tasa de concepción (Santos et al., 2016; Dirandeh, 2021). Este comportamiento sugiere que su impacto depende en gran medida de la dosis, la fuente y, especialmente, de su relación con los ácidos grasos omega-3, lo que refuerza la importancia del equilibrio lipídico en la regulación de la fertilidad.

3.5.2 Intervalo parto-concepción

El intervalo parto–concepción es un indicador clave de eficiencia reproductiva, estrechamente relacionado con la recuperación metabólica y la reactivación de la función ovárica en el posparto. La suplementación con AGPI n-3 ha demostrado reducir este intervalo al mejorar el balance energético y disminuir la inflamación sistémica asociada al periodo de transición (Greco et al., 2018; Moallem, 2018). Los omega-3 contribuyen a una recuperación más eficiente del eje hipotálamo-hipófisis-ovario, favoreciendo la reanudación de la ciclicidad ovárica y la ovulación temprana. Además, su efecto antiinflamatorio ayuda a prevenir alteraciones uterinas posparto, lo que facilita condiciones óptimas para la concepción (Kra et al., 2021).

Por el contrario, dietas con una elevada proporción de omega-6 pueden prolongar este intervalo debido a la persistencia de un estado inflamatorio subclínico y a un incremento en la producción de $PGF2\alpha$, lo que interfiere con la estabilidad luteal y retrasa la implantación embrionaria (Santos et al., 2016; Roche et al., 2017).

3.5.3 Tasa de preñez

La tasa de preñez representa un indicador integrador de la eficiencia reproductiva, ya que refleja la culminación exitosa de procesos como la ovulación, la fecundación, el desarrollo embrionario y la implantación. Se define como el porcentaje de hembras que quedan gestantes en relación con el número de servicios o inseminaciones realizadas en un periodo determinado, siendo un parámetro clave para evaluar el desempeño reproductivo en sistemas de producción lechera (Diskin & Kenny, 2016; Lucy et al., 2017). En este contexto, los ácidos grasos poliinsaturados n-3 (AGPI n-3) han mostrado un impacto positivo consistente, asociado principalmente a su efecto antiluteolítico y a la mejora en la producción de progesterona, hormona clave para la preparación del endometrio y el mantenimiento de la gestación temprana (Dirandeh, 2021; Sinedino et al., 2017).

Al disminuir la señal luteolítica mediada por $\text{PGF2}\alpha$, los omega-3 favorecen la persistencia del cuerpo lúteo y aumentan la probabilidad de establecimiento de la preñez (Kang et al., 2026). Adicionalmente, su acción moduladora sobre el ambiente uterino contribuye a una mejor sincronización entre el desarrollo embrionario y la receptividad endometrial.

En el caso de los AGPI n-6, se han reportado efectos positivos cuando se utilizan estratégicamente durante el periodo peri-inseminación, particularmente en la mejora de la señalización embrionaria, como el incremento en la expresión de interferón- τ y el desarrollo del concepto (Cooke, 2019). No obstante, estos efectos dependen de la dosis, la fuente y del equilibrio con los omega-3, lo que condiciona su impacto sobre la tasa de preñez.

3.5.4 Calidad ovocitaria y desarrollo embrionario

La calidad del ovocito y el desarrollo embrionario temprano son determinantes críticos de la fertilidad. El establecimiento de la gestación implica la ovulación de un ovocito competente, su fecundación y el desarrollo embrionario en un entorno uterino adecuado; en bovinos, el embrión alcanza el útero alrededor del día 4 en etapas tempranas, forma un blastocisto hacia el día 7 y, tras la eclosión, inicia su elongación, proceso durante el cual el conceptus secreta interferón- τ (IFNT) (Lonergan & Sánchez, 2020) y actúa dentro del útero para suprimir la expresión de ESR1 en las células epiteliales uterinas, previniendo la regulación positiva de OxyR y los pulsos uterinos de PGF2A , (Wiltbank et al., 2023) señal clave para el reconocimiento materno de la gestación y el mantenimiento del cuerpo lúteo. Asimismo, factores maternos presentes en el líquido luminal uterino regulan el crecimiento y la diferenciación embrionaria durante estas etapas críticas (Lonergan & Sánchez, 2020).

En esta misma, un estudio in vivo, Nagata (2021) demostró que el ácido docosahexaenoico (DHA) mejoró el crecimiento de los ovocitos, incrementando su diámetro y capacidad de fertilización, además de optimizar los marcadores de calidad ovocitaria. Asimismo, el tratamiento con DHA redujo el contenido lipídico tanto en los ovocitos como en las células de la granulosa. Los ácidos grasos omega-3 mejoran la competencia ovocitaria mediante la modificación de la composición lipídica de las membranas celulares, lo que incrementa su fluidez, estabilidad y capacidad de señalización (Plewes et al., 2017; Kraisoorn et al., 2018).

Asimismo, la suplementación con omega-3 ha demostrado mejorar la calidad de los blastocistos y aumentar la tasa de desarrollo embrionario, tanto in vivo como in vitro (Freret et al., 2019; Garza et al., 2023). Este efecto se asocia con una menor susceptibilidad al estrés oxidativo y una mejor regulación del metabolismo energético embrionario (Sinedino et al., 2017). Por otro lado, los AGPI también participan en la elongación del concepto y en la señalización materno-embionaria, procesos esenciales para el reconocimiento de la gestación (Ribeiro et al., 2016). No obstante, un exceso de omega-6 puede alterar este equilibrio, favoreciendo la producción de mediadores inflamatorios que afectan negativamente el desarrollo embrionario.

Por otra parte, Yan (2016) menciona que la mortalidad embrionaria es un factor importante que contribuye al fracaso de la gestacional temprana; se cree que la pérdida temprana del embrión debido a la falta de reconocimiento materno de la gestación representa hasta el 25% al 30% de los fracasos de gestación en vacas lecheras.

De acuerdo con la variedad de estudios y enfoques encontrados en la literatura, resulta útil organizar la información de forma que permita una lectura más clara y comparativa de los resultados, tal como se

presenta en la Tabla 3 en la que se resumen las características y hallazgos más relevantes de los estudios incluidos en esta revisión.

TABLA 3 *Características y resultados de estudios sobre suplementación con AGPI en bovinos*

Autor (año)	Tipo de estudio	Tipo de AGPI	Fuente lipídica	Modelo animal	Variables evaluadas	Principales hallazgos
Castro et al. (2019)	Experimental	Omega-3 y omega-6	Aceites vegetales	Vacas lecheras	Producción, fertilidad	Mejora en desempeño productivo y reproductivo
Castro Berman (2024)	Tesis doctoral	Relación n-6:n-3	Dieta total	Vacas en transición	Producción, consumo	Relación lipídica influye en metabolismo y producción
Cholewski et al. (2018)	Revisión	Omega-3	Fuentes dietéticas	General	Bioquímica, absorción	Describe fuentes y biodisponibilidad de AGPI
Cooke (2019)	Revisión/experimental	Omega-6	Dieta suplementada	Vacas carne/leche	Desarrollo embrionario	Favorece desarrollo embrionario temprano
Dirandeh et al. (2021)	Experimental	CLA (derivado omega-6)	Dieta suplementada	Vacas lecheras	Metabolismo lipídico	Modulación de expresión génica lipídica
Domínguez et al. (2017)	Experimental	AGPI	Suplementación dietaria	Vacas mestizas	Reproducción, producción	Mejora parámetros reproductivos
Elis et al. (2016)	Experimental	Omega-3	Dieta enriquecida	Vacas lecheras	Producción, reproducción	Efecto positivo en variables reproductivas
Fabjanowska et al. (2023)	Revisión	Omega-3	Dieta	Bovinos	Inmunidad, reproducción	Rol inmunológico y reproductivo de AGPI
Freret et al. (2019)	Experimental	Omega-3	Dieta enriquecida	Vacas lecheras	Producción embrionaria	Mejora calidad y cantidad embrionaria

Garza et al. (2023)	Experimental	Omega-3 y omega-6	Suplementación oral	Vacas donadoras	Calidad embrionaria	Incremento en producción embrionaria
Ghorbanaliania et al. (2026)	Experimental	Omega-3	Dieta suplementada	Vacas Holstein	Metabolismo, expresión génica	Modulación metabólica en transición
Greco et al. (2018)	Experimental	Relación 6:n-3	Dieta modificada	Vacas lactantes	Luteólisis	Influencia en dinámica luteal
Gutiérrez León (2022)	Experimental	Grasas vegetales	Dieta	Vacas Holstein	Producción	Efectos productivos de grasas
Kang et al. (2026)	Revisión	Omega-3 y omega-6	Dieta	Rumiantes	Regulación reproductiva	Mecanismos sobre PGF2 α y CL
Kraisoon et al. (2018)	Experimental	AGPI	Dieta enriquecida	Vacas lecheras	PGF2 α , cuerpo lúteo	Influencia en función luteal
Kra et al. (2021)	Experimental	Omega-3	Suplementación	Vacas posparto	Inflamación	Modulación del sistema inmune
Mariscal-Aguayo et al. (2016)	Observacional	No específico	Sistemas productivos	Vacas lecheras	Indicadores reproductivos	Relación manejo reproducción
Moallem (2018)	Revisión	Omega-3	Dieta	Bovinos	Producción, reproducción	Efectos integrales de AGPI
Page et al. (2021)	Guía metodológica	No aplica	No aplica	No aplica	Metodología	Lineamientos PRISMA
Palmquist & Jenkins (2017)	Revisión	Grasas dietarias	Dieta	Bovinos	Producción	Rol histórico de grasas en dieta
Plewes et al. (2017)	Experimental	Omega-3	Dieta	Bovinos	Membrana celular	Efecto en dinámica celular luteal
Ribeiro et al. (2016)	Revisión	Lípidos	Dieta	Rumiantes	Desarrollo embrionario	Rol en elongación embrionaria
Roche et al. (2017)	Revisión	Lípidos	Dieta	Vacas lecheras	Fertilidad	Relación nutrición-fertilidad
Santos et al. (2016)	Revisión	AGPI	Dieta	Vacas lecheras	Fertilidad	Regulación hormonal reproductiva

Sinedino et al. (2017)	Experimental	DHA (omega-3)	Suplementación	Vacas lecheras	Tasa preñez	Mejora eficiencia reproductiva
Subramaniam et al. (2016)	Experimental	Dieta modificada	Sustitución energética	Vacas lecheras	Función ovárica	Influencia nutricional en ovario
Wiltbank et al. (2016)	Revisión	Metabolismo energético	Dieta	Vacas lecheras	Pérdida gestacional	Factores críticos en gestación temprana
Zeng et al. (2023)	Revisión	Ácidos grasos funcionales	Dieta	Ganado	Reproducción	Regulación de potencia reproductiva

3.6 Balance energético negativo y su impacto en la reproducción

El balance energético negativo (BEN) constituye uno de los principales factores fisiológicos que condicionan la eficiencia reproductiva en vacas lecheras de alta producción, particularmente durante el posparto temprano. Este estado se genera cuando la demanda energética para la síntesis láctea excede la ingesta de nutrientes, lo que conduce a la movilización de reservas corporales y a un incremento en la concentración de ácidos grasos no esterificados (NEFA) y cuerpos cetónicos en circulación (Roche et al., 2017).

Desde el punto de vista endocrino, el BEN altera la funcionalidad del eje hipotálamo–hipófisis–ovario, reduciendo la frecuencia de pulsos de hormona luteinizante (LH) y modificando la secreción de gonadotropinas. Esta disrupción limita el crecimiento folicular y retrasa la ovulación posparto, afectando directamente la reanudación de la actividad reproductiva (Wiltbank et al., 2016; Santos et al., 2016). De manera complementaria, la disminución en las concentraciones de insulina e IGF-1 compromete la proliferación de las células de la granulosa, lo que repercute negativamente sobre la esteroidogénesis y la calidad ovocitaria. A nivel metabólico, la elevada disponibilidad de NEFA favorece su acumulación en tejidos como el hígado y el ovario, generando efectos de lipotoxicidad, estrés oxidativo y disfunción mitocondrial. Estos procesos impactan la competencia del ovocito y el desarrollo embrionario temprano, reduciendo la probabilidad de fertilización exitosa y la viabilidad embrionaria (Ribeiro et al., 2016).

Adicionalmente, el BEN se asocia con un estado inflamatorio sistémico de bajo grado, caracterizado por el incremento de citoquinas proinflamatorias y mediadores lipídicos derivados del ácido araquidónico. Este entorno compromete la función uterina y puede interferir con los mecanismos de señalización necesarios para el reconocimiento materno de la gestación (Zeng et al., 2023; Roche et al., 2017).

En este contexto, la suplementación con ácidos grasos poliinsaturados adquiere relevancia como estrategia nutricional moduladora. En particular, los omega-3 han demostrado contribuir a la regulación de la respuesta inflamatoria y la mejora de la adaptación metabólica durante el BEN, lo que favorece indirectamente la estabilidad de la función luteal y el ambiente uterino (Moallem, 2018; Ghorbanalinia et al., 2026). No obstante, la magnitud de estos efectos depende de la severidad del déficit energético, la duración del periodo de desbalance y la interacción con otros componentes de la dieta, lo que evidencia la complejidad de su manejo en sistemas productivos intensivos.

3.7 Periodo de transición y su influencia en la eficiencia reproductiva

El periodo de transición, comprendido entre las tres semanas previas y las tres semanas posteriores al parto, representa una fase crítica en la fisiología de la vaca lechera, caracterizada por profundos cambios metabólicos, endocrinos e inmunológicos que impactan directamente la eficiencia reproductiva (Roche et al., 2017).

Durante esta etapa, el animal experimenta una disminución en el consumo de materia seca, coincidiendo con un incremento abrupto en los requerimientos energéticos para la producción láctea. Esta condición favorece la instauración del balance energético negativo y desencadena una serie de adaptaciones metabólicas orientadas a sostener la producción, muchas de las cuales tienen efectos colaterales sobre la función reproductiva (Rómulo et al., 2020).

Desde el punto de vista endocrino, el periodo de transición se caracteriza por una reorganización del eje hormonal, donde las variaciones en insulina, IGF-1 y hormonas reproductivas afectan la dinámica folicular y la capacidad ovulatoria. Como consecuencia, es frecuente observar retrasos en la primera ovulación posparto y una menor eficiencia en los procesos de fertilización (Wiltbank et al., 2016).

En paralelo, la función inmunológica se ve comprometida, aumentando la susceptibilidad a enfermedades metabólicas y uterinas, como metritis y endometritis, las cuales impactan negativamente el ambiente uterino y reducen la probabilidad de establecimiento de la gestación (Rómulo et al., 2020). Este escenario resalta la interacción entre metabolismo, inmunidad y reproducción como un eje integrador clave durante esta fase.

En este contexto, la nutrición desempeña un papel determinante en la mitigación de los efectos adversos del periodo de transición. La inclusión estratégica de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente omega3, ha mostrado efectos positivos al modular la inflamación, mejorar la respuesta inmune y favorecer la recuperación metabólica, lo que se traduce en una mejora indirecta de los parámetros reproductivos (Moallem, 2018; Kra et al., 2021).

En conjunto, el periodo de transición no solo actúa como un punto de inflexión metabólico, sino también como un determinante clave de la respuesta a intervenciones nutricionales, incluyendo la suplementación lipídica. Esto refuerza la necesidad de enfoques integrados que consideren el estado fisiológico del animal al momento de diseñar estrategias orientadas a optimizar la eficiencia reproductiva.

4 CONCLUSIONES

En relación con el objetivo general la evidencia analizada confirma que la suplementación con ácidos grasos omega-3 y omega-6 influyen de manera significativa en la fisiología hormonal y en la eficiencia reproductiva de vacas, especialmente en aquellas durante el periodo de transición donde el estado metabólico condiciona la respuesta a estas intervenciones nutricionales, es este periodo el balance energético negativo emerge como un factor determinante en la eficiencia reproductiva, en este contexto los ácidos grasos omega-3 y omega-6 no solo participan activamente en la regulación de procesos fisiológicos clave que contribuyen a la homeostasis metabólica y a la generación de un ambiente uterino favorable para la implantación embrionaria, sino que también, como fuentes energéticas para contrarrestar en BEN.

Se identificó que los ácidos grasos omega-3 y omega-6 modulan procesos clave a nivel endocrino, metabólico e inmunológico. Entre las principales variables afectadas se encuentran la síntesis de prostaglandinas, la función del cuerpo lúteo, la respuesta inflamatoria y el balance energético, factores determinantes en la regulación del ciclo estral y el establecimiento de la gestación.

Es así como esta evidencia indica que la suplementación con omega-3 se asocia con mejoras en la tasa de concepción, reducción de la mortalidad embrionaria y mayor estabilidad de la gestación todo esto debido a su efecto antiinflamatorio y antiluteolítico (Dirandeh, 2019; Ribeiro et al., 2016). Por su parte, los omega-6 contribuyen a la ciclicidad ovárica y la ovulación; sin embargo, su exceso puede generar efectos proinflamatorios que afectan negativamente la viabilidad embrionaria.

Así mismo se encontró que las diferentes fuentes lipídicas (como linaza, aceite de pescado, grasas protegidas y aceites vegetales) presentan efectos variables sobre la reproducción, dependiendo de su composición, nivel de protección ruminal, dosis suministrada y estado fisiológico del animal. En general estas fuentes ricas en omega-3 mostraron efectos más consistentes en la mejora de indicadores reproductivos.

Por otro lado, los estudios revisados coinciden en destacar la importancia del equilibrio entre omega-3 y omega-6 como un factor clave en la eficiencia reproductiva (Santos & Bisinotto, 2016; Moallem, 2018). No obstante, se evidencian discrepancias en la magnitud de los efectos, atribuibles a diferencias metodológicas, variabilidad en las dosis, fuentes utilizadas y condiciones productivas. Estas diferencias limitan la estandarización de resultados, pero refuerzan la necesidad de enfoques contextualizados.

Finalmente, se concluye que la efectividad de la suplementación lipídica no depende únicamente de la inclusión de omega-3 u omega-6 de manera aislada, sino del adecuado balance entre ambos, así como de su ajuste a la condición corporal, a las condiciones fisiológicas y las condiciones productivas de los animales. Se recomienda que futuras investigaciones se orienten hacia ensayos clínicos controlados con mayor estandarización metodológica, que permitan definir dosis óptimas, para establecer relaciones ideales entre omega-6 y omega-3, con el fin de evaluar las relaciones óptimas entre estos ácidos grasos para maximizar su impacto en diferentes sistemas de producción y condiciones ambientales.

5 DECLARACION DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los autores declaran haber empleado instrumentos de inteligencia artificial (IA) para ajustar estructura, gramática y estilo en el artículo en las tablas 1, 2 y 3.

6 CONFLICTO DE INTERESES

Los autores afirman que no tienen conflicto de intereses.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castro Berman, M. (2024). *Relación omega-6:omega-3 en la dieta de la vaca en transición y sus efectos sobre la alimentación y producción* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata.

Castro, T., Martínez, D., Isabel, B., Cabezas, A., & Jimeno, V. (2019). Vegetable oils rich in polyunsaturated fatty acids supplementation of dairy cows' diets: Effects on productive and reproductive performance. *Animals*, 9(5), 205. <https://doi.org/10.3390/ani9050205>

- Chiroque Bravo, G. A. (2024). Efecto de omega 3 y 6 provenientes de semillas de huayllabamba (*plukenetia huayllabambana*) y zapallo (*cucurbita maxima*) en el perfil hormonal ovárico de vacas holstein en lactación temprana
- Cholewski, M., Tomczykowa, M., & Tomczyk, M. (2018). A comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty acids. *Nutrients*, 10(11), 1662. <https://doi.org/10.3390/nu10111662>
- Cipriano, R. S., Cooke, R. F., Rodrigues, A. D., Silva, L. G., Bohnert, D. W., Marques, R. S., Vasconcelos, J. L., Pires, A. V., & Cerri, R. L. (2016). Post-artificial insemination supplementation with calcium salts of soybean oil influences pregnancy establishment factors in beef cows. *Journal of animal science*, 94(11), 4892–4902. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0916>
- Cooke, R. F. (2019). Early career achievement award: Supplementing omega-6 fatty acids to enhance early embryonic development and pregnancy establishment in *Bos indicus* and *Bos taurus* beef cows. *Journal of Animal Science*, 97(1), 485–495. <https://doi.org/10.1093/jas/sky414>
- Dirandeh, E., Ghorbanalinia, M., Roodbari, A., & Colazo, M. (2021). Effects of dietary conjugated linoleic acid on metabolic status, BW and expression of genes related to lipid metabolism in adipose tissue of dairy cows during peripartum. *Animal*, 15(2), 100105. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100105>
- Diskin, M. G., & Kenny, D. A. (2016). Managing the reproductive performance of beef cows. *Theriogenology*, 86(1), 379–387. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.052>
- Domínguez, C., Ruiz, A. Z., Pérez, R., Martínez, N., Pinto, L., & Díaz, T. (2017). Efecto de la adición de ácidos grasos poliinsaturados sobre el comportamiento reproductivo y productivo en vacas mestizas Carora en los llanos centrales de Venezuela. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 58(2), 53–67. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025865762017000200002
- Elis, S., Freret, S., Desmarchais, A., Maillard, V., Cognié, J., Briant, E., & Dupont, J. (2016). Effect of a long-chain n-3 PUFA-enriched diet on production and reproduction variables in dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 164, 121–132.
- Fabjanowska, J., Kowalczyk-Vasilev, E., Klebaniuk, R., Milewski, S., & Gümüş, H. (2023). N-3 polyunsaturated fatty acids as a nutritional support of the reproductive and immune system of cattle: A review. *Animals*, 13(22), 3589. <https://doi.org/10.3390/ani13223589>
- Freret, S., Oseikria, M., Le Bourhis, D., Desmarchais, A., Briant, E., Desnoes, O., & Elis, S. (2019). Effects of a n-3 polyunsaturated fatty acid-enriched diet on embryo production in dairy cows. *Reproduction*, 158(1), 71–83. <https://doi.org/10.1530/REP-18-0644>
- Garza, D., Camacho, M., Manzanares, N., Moreno, G., & Kawas, J. (2023). Embryo yield and quality in superovulated Simmental donor cows following oral supplementation with different sources of omega-3 and omega-6 fatty acids. *Livestock Science*, 277, 105339. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105339>

- Ghorbanalinia, M., Dirandeh, E., Ansari-Pirsaraei, Z., Sadri, H., & Thatcher, W. W. (2026). Modulation of fat mobilization and adipose tissue gene expression in Holstein cows supplemented with omega-3 fatty acids and N-acetyl-tryptophan during the transition period. *Scientific Reports*, 16(1), 7785. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-38923-8>
- Greco, L. F., Neves Neto, J. T., Pedrico, A., Lima, F. S., Bisinotto, R. S., Martinez, N., & Santos, J. E. P. (2018). Effects of altering the ratio of dietary n-6 to n-3 fatty acids on spontaneous luteolysis in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(11), 10536–10556. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15065>
- Gutiérrez León, F. A. (2022). Efectos de la adición de grasas vegetales en la alimentación de vacas Holstein en el primer tercio de lactación. *Revista del Centro de Investigación de la Universidad La Salle*, 15(58), 143–162. <https://doi.org/10.26457/recein.v15i58.2963>
- Haubold, S., Kröger-Koch, C., Tuchscherer, A., Kanitz, E., Weitzel, J. M., Hoeflich, A., Starke, A., Tröschner, A., Sauerwein, H., & Hammon, H. M. (2020). Effects of a combined essential fatty acid and conjugated linoleic acid abomasal infusion on metabolic and endocrine traits, including the somatotrophic axis, in dairy cows. *Journal of dairy science*, 103(12), 12069–12082. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18569>
- Kang, T., Fan, G., Lin, H., Tseng, K., Liu, Y., & Wu, H. (2026). Nutritional Regulation of Reproductive Physiology in Ruminants: A Mechanistic Review. *Life*, 16(4), 630. <https://doi.org/10.3390/life16040630>
- Kra, G., Nemes-Navon, N., Daddam, J. R., Livshits, L., Jacoby, S., Levin, Y., Zachut, M., & Moallem, U. (2021). Proteomic analysis of peripheral blood mononuclear cells and inflammatory status in postpartum dairy cows supplemented with different sources of omega-3 fatty acids. *Journal of proteomics*, 246, 104313. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2021.104313>
- Kraisoon, A., Navanukraw, C., Inthamonee, W., & Bunma, T. (2018). Embryonic development, luteal size and blood flow area, and concentrations of PGF2 α metabolite in dairy cows fed a diet enriched in polysaturated or polyunsaturated fatty acid. *Animal Reproduction Science*, 195, 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.06.007>
- Loneragan, P., & Sánchez, J. (2020). Symposium review: Progesterone effects on early embryo development in cattle. *Journal Of Dairy Science*, 103(9), 8698-8707. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18583>
- Lordan, R., & Blesso, C. N. (2023). Editorial: Phospholipids and sphingolipids in nutrition, metabolism, and health. *Frontiers in nutrition*, 10, 1153138. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1153138>
- Lucy, M. C. (2019). Symposium review: Selection for fertility in the modern dairy cow—Current status and future direction for genetic selection. *Journal of dairy science*, 102(4), 3706-3721
- Mariscal-Aguayo, V., Pacheco-Cervantes, A., Estrella-Quintero, H., Huerta-Bravo, M., Rangel-Santos, R., & Núñez-Domínguez, R. (2016). Indicadores reproductivos de vacas lecheras en agroempresas

con diferente nivel tecnológico en Los Altos de Jalisco. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(3), 493–507.

- Moallem, U. (2018). Invited review: Roles of dietary n-3 fatty acids in performance, milk fat composition, and reproductive and immune systems in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 8641–8661. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14772>
- Nagata, S., Tatematsu, K., Yamaguchi, H., Inoue, Y., Tanaka, K., Tasaki, H., ... & Iwata, H. (2021). Effect of docosahexaenoic acid on in vitro growth of bovine oocytes. *Reproductive Medicine and Biology*, 20(4), 485-493.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (2017). A 100-year review: Fat feeding of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10061–10077. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12924>
- Pereira, G., Simões, P., Bexiga, R., Silva, E., Mateus, L., Fernandes, T., Alves, S. P., Bessa, R. J., & Lopes-Da-Costa, L. (2021). Effects of feeding rumen-protected linseed fat to postpartum dairy cows on plasma n-3 polyunsaturated fatty acid concentrations and metabolic and reproductive parameters. *Journal Of Dairy Science*, 105(1), 361-374. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20674>
- Plewes, M. R., Burns, P. D., Hyslop, R. M., & Barisas, B. G. (2017). Influence of omega-3 fatty acids on bovine luteal cell plasma membrane dynamics. *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1859(12), 2413-2419. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2017.09.012>
- Ribeiro, E. S., Santos, J. E. P., & Thatcher, W. W. (2016). Role of lipids on elongation of the preimplantation conceptus in ruminants. *Reproduction*, 152(4), R115–R126. <https://doi.org/10.1530/REP-16-0104>
- Roche, J. R., Burke, C. R., Crookenden, M. A., Heiser, A., Loor, J. J., Meier, S., ... Turner, S. A. (2017). Fertility and the transition dairy cow. *Reproduction, Fertility and Development*, 30(1), 85–100. <https://doi.org/10.1071/RD17412>
- Rómulo, C. G., Morales, J. D., & Espinosa, N. (2020). Efecto de la suplementación nutricional sobre el balance energético en vacas lecheras en trópico bajo. <https://repository.unilasallista.edu.co/items/5e21a51c-7136-4d41-98aa-319493e17f75>
- Sanchez, G., Gutierrez, N., Moya, M., Burgos, R. A., & Hidalgo, M. A. (2025). Docosahexaenoic Acid (DHA) Decreases IL-6 and Prostaglandin-Endoperoxide Synthase 2 mRNA Expression and IL-6 Protein Release, While Increasing Resolvin D1 and CXCL8 mRNA Expression and Protein Release in Bovine Endometrial Cells. *Animals : an open access journal from MDPI*, 15(17), 2545. <https://doi.org/10.3390/ani15172545>
- Santos, J. E. P., Bisinotto, R. S., & Ribeiro, E. S. (2016). Mechanisms underlying reduced fertility in anovular dairy cows. *Theriogenology*, 86(1), 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.038>

- Sinedino, L. D. P., Honda, P. M., Souza, L. R., Lock, A. L., Boland, M. P., Staples, C. R., ... Santos, J. E. P. (2017). Effects of docosahexaenoic acid supplementation on reproduction of dairy cows. *Reproduction*, 153(5), 707–723. <https://doi.org/10.1530/REP-16-0642>
- Subramaniam, E., Colazo, M. G., & Gobikrushanth, M. (2016). Effects of reducing dietary starch content by replacing barley grain with wheat dried distillers grains plus solubles in dairy cow rations on ovarian function. *Journal of Dairy Science*, 99, 2762–2774.
- Wiltbank, M. C., Baez, G. M., Garcia-Guerra, A., Toledo, M. Z., Monteiro, P. L. J., Melo, L. F., ... Sartori, R. (2016). Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 86(1), 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037>
- Wiltbank, M. C., Monteiro, P. L., Domingues, R. R., Andrade, J. P. N., & Mezera, M. A. (2023). Review: Maintenance of the ruminant corpus luteum during pregnancy: interferon-tau and beyond. *Animal*, 17, 100827. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100827>
- Yan, L., Robinson, R., Shi, Z., & Mann, G. (2016). Eficacia de la suplementación con progesterona durante el inicio de la gestación en vacas: un metaanálisis. *Theriogenology*, 85 (8), 1390-1398.
- Zeng, X., Li, S., Liu, L., Cai, S., Ye, Q., Xue, B., & Zeng, X. (2023). Role of functional fatty acids in modulation of reproductive potential in livestock. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14, 24. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00818-9>