UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“IMPORTANCIA DE LAS ENFERMEDADES METABÓLICAS EN VACAS LECHERAS Y SU IMPLICACIÓN EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA”

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniera Agropecuaria

Autora:

Carrera Moya Andrea Nicole

Tutora:

Simancas Racines Alison Cristina

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto -2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Carrera Moya Andrea Nicole, con cédula de ciudadanía No. 0550009674, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **"IMPORTANCIA DE LAS ENFERMEDADES METABÓLICAS EN VACAS LECHERAS Y SU IMPLICACIÓN EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA"**, siendo la Médica Veterinaria Zootecnista Mg. Alison Cristina Simancas Racines, Tutora del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 3 de agosto del 2026

Andrea Nicole Carrera Moya
C.C: 0550009674
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CARRERA MOYA ANDREA NICOLE**, identificada con cédula de ciudadanía **0550009674** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agropecuaria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"IMPORTANCIA DE LAS ENFERMEDADES METABÓLICAS EN VACAS LECHERAS Y SU IMPLICACIÓN EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA"**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2022 – Marzo 2023

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Tutor: MVZ. Alison Cristina Simancas Racines, Mg.

Tema: **"IMPORTANCIA DE LAS ENFERMEDADES METABÓLICAS EN VACAS LECHERAS Y SU IMPLICACIÓN EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA"**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
b) La publicación del trabajo de grado.
c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonia

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 3 días del mes de agosto del 2026.

Andrea Nicole Carrera Moya	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CEDENTE	**LA CESIONARIA**

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación sobre el título:

"IMPORTANCIA DE LAS ENFERMEDADES METABÓLICAS EN VACAS LECHERAS Y SU IMPLICACIÓN EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA", de Carrera Moya Andrea Nicole, de la carrera de Agropecuaria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 3 de agosto del 2026

MVZ. Alison Cristina Simancas Racines, Mg.

C.C: 0503001000

DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Carrera Moya Andrea Nicole, con el título de Proyecto de Investigación: **"IMPORTANCIA DE LAS ENFERMEDADES METABÓLICAS EN VACAS LECHERAS Y SU IMPLICACIÓN EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA",** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 3 de agosto del 2026

MVZ. Cristina Isabel Bejarano Rivera, Mg.
C.C: 1802458651
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Jhinson Dennys Martinez Luzuriaga, MS.c.
C.C: 1104864127
LECTOR 2 (MIEMBRO)

MVZ. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Mtr.
C.C: 1722547278
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento, en primer lugar, a Dios por brindarme fortaleza y sabiduría para alcanzar cada objetivo y permitirme alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mis padres Paul Carrera y Silvia Moya quienes han sido pilar fundamental de mi vida. Gracias por su amor incondicional, sus sacrificios, sus consejos y sobre todo por creer en mi incluso cuando yo misma dudaba.

A mi hermana Paula Carrera por acompañarme en este camino, por nuestras desveladas juntas con mis deberes.

Y a toda mi familia que confió en mí y en mis capacidades durante todo este proceso.

Gracias por motivarme a no rendirme, por celebrar mis pequeños avances y por brindarme la fuerza necesaria.

Andrea Nicole Carrera Moya

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por guiar cada uno de mis pasos, darme fortaleza en los momentos de dificultad y permitirme alcanzar una de las metas más importantes de mi vida.

A mis papas, Paul Carrera y Silvia Moya, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio me ayudaron para llegar hasta aquí. Gracias por creer en mí, por impulsarme a seguir adelante y por enseñarme que la constancia y el trabajo honesto siempre tienen recompensa.

A mi hermana Paula Carrera por ser mi compañera de vida, por su apoyo incondicional cuando más la necesitaba y por estar presente en cada etapa de este camino.

A mis abuelitos, con su cariño, consejos y valores han sido una fuente de inspiración, mi impulso para alcanzar este sueño

A mi tía Fernanda y Christian quienes durante mi formación universitaria compartieron conmigo sus conocimientos, experiencias y consejos. Gracias por su apoyo constante, por dedicarme su tiempo. Sus enseñanzas fueron un apoyo invaluable en este proceso.

Finalmente dedico este logro a toda mi familia quienes nunca dejaron de confiar en mi incluso en los momentos más difíciles. Gracias por acompañarme en cada paso y por celebrar mis triunfos.

Andrea Nicole Carrera Moya

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "IMPORTANCIA DE LAS ENFERMEDADES METABÓLICAS EN VACAS LECHERAS Y SU IMPLICACIÓN EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA".

Autora:

Carrera Moya Andrea Nicole

RESUMEN

Las enfermedades metabólicas que afectan a las vacas lecheras durante el periodo de transición representan uno de los principales problemas para los sistemas de producción, debido a su impacto sobre el rendimiento productivo, el bienestar animal, la calidad de la leche y la seguridad alimentaria. Entre las alteraciones más frecuentes se encuentran la cetosis, el hígado graso, la hipocalcemia, la hipomagnesemia y la acidosis ruminal subaguda (SARA), asociadas con el balance energético negativo, deficiencias nutricionales y un manejo inadecuado. Estas condiciones incrementan el riesgo de enfermedades secundarias, pérdidas económicas y un mayor uso de antimicrobianos. El objetivo de esta investigación fue sintetizar la evidencia disponible sobre los trastornos metabólicos más relevantes en vacas lecheras durante el periodo de transición y su relación con factores de riesgo, diagnóstico e impacto productivo, desde una visión One Health. Se realizó una revisión bibliográfica estructurada con aproximación sistemática y síntesis narrativa, basada en los lineamientos de PRISMA 2020 y la estrategia PECO. La búsqueda incluyó las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO y Google Académico, considerando publicaciones en español e inglés entre 2010 y 2025. De 193 estudios identificados, 19 cumplieron los criterios de inclusión. Los resultados evidenciaron que la prevención depende de una adecuada alimentación, el monitoreo durante el periodo de transición y la detección temprana mediante biomarcadores como β-hidroxibutirato (BHBA), ácidos grasos no esterificados (NEFA), calcio y magnesio séricos. Se concluye que el control oportuno mejora la producción, la eficiencia reproductiva, el bienestar animal y la sostenibilidad de los sistemas lecheros.

Palabras clave: enfermedades metabólicas; vacas lecheras; periodo de transición; seguridad alimentaria; One Health.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: "THE IMPORTANCE OF METABOLIC DISEASES IN DAIRY COWS AND THEIR IMPACT ON FOOD SECURITY"

Author:

Carrera Moya Andrea Nicole

ABSTRACT

Metabolic diseases affecting dairy cows during the transition period represent one of the major challenges in production systems, due to their impact on production performance, animal welfare, milk quality and food safety. Among the most common disorders are ketosis, fatty liver, hypocalcaemia, hypomagnesaemia and subacute ruminal acidosis (SARA), which are associated with a negative energy balance, nutritional deficiencies and inadequate management practices. These conditions increase the risk of secondary diseases, economic losses and higher antimicrobial use. The aim of this research was to synthesise the available evidence on the most relevant metabolic disorders in dairy cows during the transition period and their relationship with risk factors, diagnosis and impact on production, from a One Health perspective. A structured literature review with a systematic approach and narrative synthesis was conducted, based on the PRISMA 2020 guidelines and the PECO strategy. The search included the PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO and Google Scholar databases, and included publications in Spanish and English published between 2010 and 2025. Of 193 studies identified, 19 met the conclusion criteria. The results showed that prevention depends on adequate nutrition, monitoring during the transition period, and early detection through biomarkers such as β-hydroxybutyrate (BHBA), non-esterified fatty acids (NEFAs), and serum calcium and magnesium levels. It is concluded that timely management improves production, reproductive efficiency, animal welfare and the sustainability of dairy systems.

Keywords: metabolic diseases; dairy cows; transition period; food safety; One Health.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR iii

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN v

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN vi

AGRADECIMIENTO vii

DEDICATORIA viii

RESUMEN ix

ABSTRACT x

ÍNDICE DE CONTENIDOS xi

ÍNDICE DE TABLAS xv

ÍNDICE DE FIGURAS xv

1. INFORMACIÓN GENERAL 1

2. JUSTIFICACIÓN 2

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 4

4. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN 4

5. OBJETIVOS 7

4.1. General 7

4.2. Específicos 7

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS 7

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA 9

7.1. Fundamentos del enfoque Una Salud 9

7.2. Relación entre salud animal, producción láctea y seguridad alimentaria 9

7.3. Periodo de transición como etapa crítica en la vaca lechera 9

7.4. Enfermedades metabólicas prioritarias durante el periodo de transición 10
7.5. Definición y clasificación de las enfermedades metabólicas prioritarias 10
7.5.1. Cetosis clínica y cetosis subclínica 10
7.5.2. Hígado graso 10
7.5.3. Hipocalcemia clínica y subclínica 11
7.5.4. Hipomagnesemia clínica y subclínica 11
7.5.5. Acidosis ruminal subaguda 11
7.6. Fisiopatología y mecanismos biológicos de las alteraciones metabólicas 12
7.6.1. Balance energético negativo en el periodo de transición 12
7.6.2. Ácidos grasos no esterificados y beta-hidroxibutirato 12
7.6.3. Homeostasis del calcio y respuesta posparto 12
7.6.4. Función del magnesio en la regulación mineral 13
7.6.5. Microbiota ruminal, fibra efectiva y pH ruminal 13
7.7. Epidemiología, prevalencia y factores de riesgo 14
7.7.1. Prevalencia e incidencia durante el periodo de transición 14
7.8. Factores de riesgo para enfermedades metabólicas 16
7.9. Diagnóstico y biomarcadores durante el periodo de transición 17
7.9.1. Diagnóstico de cetosis e hígado graso 17
7.9.2. Diagnóstico de hipocalcemia 18
7.9.3. Diagnóstico de hipomagnesemia 18
7.9.4. Diagnóstico de acidosis ruminal subaguda 18
7.9.5. Ventanas temporales de medición 18
7.10. Impacto en producción de leche, fertilidad y salud animal 20
7.10.1. Impacto sobre producción de leche 20
7.10.2. Impacto sobre fertilidad 20
7.10.3. Comorbilidades asociadas 20
7.10.4. Riesgo de descarte, mortalidad y pérdidas económicas 20
7.11. Implicaciones para inocuidad y seguridad alimentaria 21
7.11.1. Enfermedades metabólicas y disponibilidad de leche 21
7.11.2. Calidad de leche y composición 21
7.11.3. Relación con enfermedades secundarias, tratamientos e inocuidad 22
7.11.4. Estabilidad del suministro lácteo y sostenibilidad 22
7.12. Prevención, monitoreo y manejo integral del periodo de transición 23

7.12.1. Manejo nutricional del periodo de transición 23
7.12.2. Control de condición corporal 23
7.12.3. Estrategias específicas de prevención 23
7.12.4. Monitoreo en granja 23
8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS 24
9. METODOLOGÍA 25
9.1. Diseño de la investigación 25
9.2. Tipo de revisión y justificación metodológica 26
9.3. Diferencia entre estudios primarios y estudios secundarios 27
9.4. Delimitación del alcance mediante estrategia PECO 28
9.4.1. Población de estudio y muestra (estrategia PECO) 29
9.4.2. Intervención o exposición 29
9.4.3. Comparación 30
9.4.4. Resultado 30
9.5. Pregunta orientadora de la revisión 31
9.6. Fuentes de información y bases de datos consultadas 31
9.6.1. PubMed/MEDLINE 31
9.6.2. Web of Science 31
9.6.3. SciELO 32
9.6.4. Google Académico 32
9.7. Estrategia de búsqueda bibliográfica 37
9.7.1. Bloque de población 37
9.7.2. Bloque de intervención o exposición 37
9.7.3. Bloque de resultados productivos 38
9.7.4. Bloque de salud pública e inocuidad 38
9.7.5. Bloque ético y normativo 39
9.8. Operadores booleanos y construcción de búsquedas concatenadas 39
9.9. Gestión de referencias y depuración documental 40
9.10. Selección de estudios 41
9.11. Criterios de elegibilidad y pertinencia 41
9.11.1. Criterios de inclusión: 41
9.11.2. Criterios de exclusión: 41

9.12. Variables de estudio y matrices de extracción 42
9.12.1. Variables del objetivo específico 1 42
9.12.2. Variables del objetivo específico 2 42
9.12.3. Variables del objetivo específico 3 42
9.13. Procedimiento de la revisión sistemática y extracción de datos 43
9.14. Síntesis y análisis analítico de los datos 43
10. RESULTADOS 44
10.1. Resumen del objetivo específico 1 47
10.2. Resumen del objetivo específico 2 49
10.3. Resumen del objetivo específico 3 53
11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS) 56
11.1. Impacto técnico 56
11.2. Impacto social 56
11.3. Impacto ambiental 56
11.4. Impacto económico 56
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 56
12.1. Conclusiones 56
12.2. Recomendaciones 58
13. BIBLIOGRAFÍA 58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Actividades a realizar por objetivo 7
Tabla 2 Definición operativa de las enfermedades metabólicas incluidas en la revisión 11
Tabla 3 Mecanismos fisiopatológicos principales de los trastornos metabólicos 13
Tabla 4 Prevalencia aproximada reportada de enfermedades metabólicas en vacas lecheras durante el periodo de transición 14
Tabla 5 Prevalencia y factores de riesgo que deben integrarse en la revisión 17
Tabla 6 Métodos diagnósticos y ventanas temporales de medición 19
Tabla 7 Impacto productivo y reproductivo de las enfermedades metabólicas 20
Tabla 8 Vínculo entre enfermedades metabólicas, inocuidad y seguridad alimentaria 22
Tabla 9 Estrategias de prevención y monitoreo en el periodo de transición 24
Tabla 10. Diferenciación metodológica del tipo de revisión empleada 27
Tabla 11 Estrategias de búsqueda avanzada y filtros por bloques temáticos bajo el enfoque One Health 32
Tabla 12 Cadenas de búsqueda ampliadas según objetivo específico 39
Tabla 13 Relación entre objetivos, variables y anexos metodológicos 42
Tabla 14. Resumen del OE1 49
Tabla 15 Resumen del OE2 52
Tabla 16 Resumen del OE3 54
Tabla 17 Matriz de alineación entre objetivos y capítulos del marco teórico 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo 45

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Importancia de las enfermedades metabólicas en vacas lecheras y su implicación en la seguridad alimentaria.

Fecha de inicio: Abril 2026

Fecha de finalización: Agosto 2026

Lugar de ejecución: UTC- Extension Salache

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuaria y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Carrera de Agropecuaria

Equipo de Trabajo:

Andrea Nicole Carrera Moya

Tutor: MVZ. Alison Cristina Simancas Racines, Mg.

Lector 1: MVZ. Cristina Isabel Bejarano Rivera, Mg.

Lector 2: Ing. Jhinson Dennys Martinez Luzuriaga, MS.c.

Lector 3: MVZ. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Mtr.

Coordinador del Proyecto:

Nombre/s: Andrea Nicole Carrera Moya

Teléfonos: 0999919991

Correo electrónico: andrea.carrera9674@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Agricultura – Agricultura - silvicultura y pesca - producción agropecuaria

Línea de investigación:

Producción y Biotecnología Animal.

Línea de vinculación de la carrera:

2. JUSTIFICACIÓN

La presenta investigación se realiza ante la gran necesidad de manera crítica para la consolidación de la evidencia científica que es dispersa sobre cada una de las enfermedades metabólicas en las vacas lecheras, como lo es la hipocalcemia y la cetosis, cuya prevalencia ha venido aumentando producto de la selección genética orientada a una alta producción. Este conjunto de trastornos no solo alcanza a comprometer el bienestar animal, sino que altera la composición a nivel químico y biológico para la leche. Al emplear la metodología sistemática (Page et al., 2021), se garantizará un proceso de manera reproducible, transparente y libre de los diversos sesgos para una identificación de los diferentes fallos a nivel metabólico que tienen un origen productivo y que actúan como los diferentes factores de riesgo que son determinantes en la inocuidad y la sostenibilidad de una cadena de suministro láctea actual.

El principal aporte a nivel teórico y metodológico, al alcanzar a unificar y estructurar cada uno de los hallazgos de la literatura científica global a través de un tamizaje riguroso. La investigación permitirá la sistematización de cada uno de los mecanismos fisiopatológicos que vinculan cada uno de los elementos metabólicos del ganado con una pérdida dentro de la calidad alimentaria, además del riesgo de transferencia de los residuos xenobióticos o los patógenos a los alimentos. Este trabajo proporcionará un marco conceptual que será actualizado y que integra la medicina veterinaria para la producción de la ciencia de los alimentos, llenado de esa forma un vacío en el conocimiento al alcanzar a conectar una salud metabólica del hato de manera directa con cada uno de los estándares de la seguridad alimentaria internacional de una manera holística y ordenada.

Los beneficiarios de manera directa pueden llegar a abarcar los múltiples actores dentro del sector agroalimentario. En primera instancia, para los veterinarios y productores lácteos quienes podrán disponer de un compendio para establecer una base científica que optimice en conjunto de decisiones para el manejo transicional de una vaca. Asimismo, con la

comunidad académica y cada uno de los investigadores biomédicos que se beneficiarán de toda una base de datos depurada que señala cada una de las líneas de investigación que aún no han sido inexploradas. Finalmente, con el conjunto de organismos de salud pública y cada una de las industrias procesadoras que obtendrán la información técnica con un alto valor para la perfección de cada uno de los manuales en las buenas prácticas pecuarias, asegurando de esa forma que la materia prima pueda cumplir con cada una de las exigencias a nivel nutricional y sanitarias para el consumidor.

Su relevancia radica en su alineación con un enfoque contemporáneo con un enfoque de una adecuada salud, reconociendo de esa forma que la sanidad animal repercute de manera directa en la salud humana e incluso ambiental. El impacto socioeconómico es significativo, ya que cada una de las patologías metabólicas generan un conjunto de pérdidas que son millonarias globales por descarte para la leche, caídas dentro de los rendimientos y reemplazos prematuros. Bajo un contexto de creciente demanda poblacional para cada una de las proteínas seguras, demostrando con gran rigor sistemático cómo el control del metabolismo animal puede prevenir la crisis de desabastecimiento y los riesgos sanitarios transversales resultando indispensables para una formulación de las políticas públicas de soberanía alimentaria y la sostenibilidad agropecuaria.

A nivel práctico, el estudio funciona como una herramienta de referencia para futuras estrategias preventivas y los protocolos de monitoreo clínico en cada granja comercial. El identificar cada uno de los factores de riesgo y las diferentes soluciones que son más efectivas validadas por la ciencia, los profesionales dentro del sector podrán implementar cada uno de los sistemas para una alerta temprana basados en los biomarcadores metabólicos. Esto reducirá el nivel de incidencia para cada una de las enfermedades de forma proactiva, disminuirá su uso empírico de los fármacos, que pueden causar una serie de residuos en cada una de los alimentos y optimizará los índices de la eficiencia biológica, asegurando de esa

forma un flujo constante para cada uno de los productos lácteos inocuos, que son estables y de alta calidad para el mercado.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Como beneficiarios directos se encuentran los profesionales dentro del sector ganadero además de la comunidad científica, causando un impacto para los veterinarios, productores lácteos tecnificados dentro de la región, quienes podrán acceder a los diferentes protocolos actualizado buscando de esa forma la mitigación del impacto de cada una de las enfermedades metabólicas. En términos de género, con una distribución estimada entre las mujeres y los hombres, lo que es un reflejo de la creciente incorporación científica, los asesores técnicos y administrativos para una producción pecuaria moderna, optimizando de esa forma la toma de decisiones a nivel clínico para un majeo nutricional del hato de forma inmediata.

El conjunto de beneficiarios indirectos corresponde a cada uno de los eslabones posteriores para una cadena agroalimentaria y toda la sociedad en general. Bajo este contexto, se beneficiarán los trabajadores dentro de la industria procesadora láctea y los consumidores finales, quienes alcanzarán a recibir los alimentos más inocuos con una mejor calidad. La distribución demográfica para este sector se estima de manera equitativa, beneficiando de esa forma a la población en general, lo que fortalecerá el sistema de salud pública, con una reducción y control de los riesgos sanitarios producto de los residuos de leche y la mayor estabilidad socioeconómica para cada una de las familias dependientes de los lácteos.

4. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

En los sistemas de producción lechera contemporáneos, el periodo de transición de la vaca aproximadamente tres semanas antes y tres semanas después del parto representa un punto de inflexión fisiológico en el que convergen el inicio abrupto de la lactación, la reducción relativa del consumo de materia seca, y una demanda acelerada de energía y

minerales. Este escenario desencadena ajustes metabólicos, endocrinos e inmunológicos profundos que, aunque son adaptativos, pueden volverse insuficientes cuando existen desbalances nutricionales, manejo inadecuado, alta presión de producción o condiciones ambientales adversas (Caixeta & Omontese, 2021; Redfern et al., 2021). En consecuencia, el "éxito" del periodo de transición no solo define la productividad inmediata, sino también la estabilidad sanitaria del hato durante toda la lactancia.

En este contexto, la ocurrencia de trastornos metabólicos como la cetosis clínica y subclínica, el hígado graso, la hipocalcemia clínica y subclínica y la acidosis ruminal subaguda (SARA) se incrementa de forma significativa, particularmente en las primeras semanas posparto. Estas enfermedades no son eventos aislados, sino nodos centrales de una red de consecuencias biológicas y productivas: disminuyen la producción de leche, afectan la eficiencia alimentaria, comprometen la fertilidad y elevan el riesgo de comorbilidades posparto, tales como metritis, mastitis y desplazamiento de abomaso, aumentando también la probabilidad de remoción temprana y pérdidas económicas directas e indirectas (Grigė et al., 2025; McArt et al., 2012; Suthar et al., 2013). Aun cuando la evidencia sobre cada trastorno es extensa, persisten brechas en la comprensión integrada de cómo se articulan entre sí, cómo varían según el sistema productivo (p. ej., familiar vs. empresarial) y cómo influyen factores contextuales como el entorno climático y los cambios estacionales en la expresión del riesgo.

Adicionalmente, estos trastornos metabólicos suelen actuar como "condición de base" que favorece la aparición de enfermedades secundarias infecciosas e inflamatorias. En términos prácticos, esto se traduce en un mayor número de intervenciones terapéuticas y, con frecuencia, en un aumento del uso de antimicrobianos para tratar comorbilidades como mastitis y metritis. Esta relación es especialmente relevante porque el uso intensivo, repetido o inadecuado de antimicrobianos en bovinos lecheros se ha vinculado con la presencia de residuos en leche y con la selección y diseminación de resistencia antimicrobiana, problemas

que trascienden la escala del predio y se proyectan hacia la salud pública y el ambiente (Ajose et al., 2022; Costa et al., 2024; Pires et al., 2024).

Desde el enfoque One Health, no basta con considerar la enfermedad metabólica como una “pérdida productiva”: también debe entenderse como un posible determinante upstream que incrementa la presión terapéutica, condiciona la exposición a antimicrobianos y, por extensión, modifica el riesgo de residuos y de resistencia antimicrobiana a lo largo de la cadena.

A nivel de la seguridad alimentaria la leche es uno de los alimentos para el consumo masivo, por ende, su inocuidad depende de garantizar el cumplimiento de cada uno de los estrictos lineamientos de las buenas prácticas, desde un control sanitario del hato y de una forma crítica, del respeto a los diferentes tiempos de retiros además de los límites máximos que son establecidos a nivel internacional como se presenta en el Codex Alimentarius (International Food Standards, n.d.). Sin embargo, a nivel práctico aún persisten los desafíos con una ocurrencia a cada una de las enfermedades posparto y la gran necesidad de los diferentes tratamientos que incrementan todo un riesgo de los errores operativos, lo que puede verse traducido como una serie de episodios de rechazo de la leche, con las pérdidas financieras y el deterioro para una confianza del consumidor. A ellos se le suma que la leche es descartada por cada tratamiento o por la infinidad de alteraciones en la calidad que representa también uno de los problemas de evidencia además del impacto ambiental que es desperdiciado, de manera especial cuando son considerados con una cadena de frío, con el manejo de efluentes y la huella asociada para la producción.

En consecuencia, se justifica la realización de un proceso sistemático de revisión de la literatura actualizada y que sea organizada para cada uno de los trastornos metabólicos que son claves para un período de transición, con sus diferentes factores para el riesgo que es modificable, con una serie de herramientas diagnósticas con biomarcadores y su impacto

productivo-sanitario, incorporando de esa forma transversal la dimensión correspondiente a One Health (Ajose et al., 2022; Caixeta & Omontese, 2021; Costa et al., 2024; International Food Standards, n.d.; Pires et al., 2024; Redfern et al., 2021).

5. OBJETIVOS

4.1.General

Sintetizar la evidencia disponible sobre los trastornos metabólicos más relevantes en vacas lecheras durante el periodo de transición y su relación con factores de riesgo, diagnóstico e impacto productivo, desde una visión One Health.

4.2.Específicos

- Describir la prevalencia y los factores de riesgo asociados a la presentación de cetosis/hígado graso, hipocalcemia, hipomagnesemia y acidosis ruminal subaguda (SARA) durante el periodo de transición.
- Identificar los principales métodos de diagnóstico para cetosis/hígado graso, hipocalcemia, hipomagnesemia y acidosis ruminal subaguda (SARA), incluyendo las ventanas temporales de medición.
- Sintetizar el impacto de estos trastornos sobre producción de leche y fertilidad, y su vínculo con la inocuidad y seguridad alimentaria.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1

Actividades a realizar por objetivo

Objetivos Específicos	Sistema de tareas	Procedimiento metodológico vinculado (Estrategia PECO)	Producto / Entregable esperado

Transversal a todo el proyecto	1.1. Definir la estrategia de búsqueda con base en la pregunta PECO. 1.2. Seleccionar bases de datos y descriptores (DeCS/MeSH). 1.3. Ejecutar las búsquedas bibliográficas. 1.4. Organizar y depurar los registros recuperados.	Formulación de la pregunta PECO, definición de criterios de inclusión y exclusión y estrategia de búsqueda bibliográfica.	Base de datos bibliográfica organizada.
Objetivo Específico 1: Describir la ocurrencia y los factores de riesgo modificables de cetosis/hígado graso, hipocalcemia, hipomagnesemia y SARA durante el periodo de transición.	2.1. Seleccionar estudios relacionados. 2.2. Extraer información sobre ocurrencia y factores de riesgo. 2.3. Sistematizar la evidencia por enfermedad.	Selección de estudios relacionados con la ocurrencia y factores de riesgo de las enfermedades metabólicas.	Sección de Resultados 1.
Objetivo Específico 2: Identificar los principales métodos de diagnóstico y el monitoreo en granja, incluyendo las ventanas temporales de medición.	3.1. Identificar métodos diagnósticos. 3.2. Clasificar biomarcadores y monitoreo. 3.3. Comparar ventanas temporales.	Extracción y sistematización de la información sobre métodos diagnósticos, biomarcadores y monitoreo.	Sección de Resultados 2.
Objetivo Específico 3: Sintetizar el impacto sobre producción de leche, fertilidad y comorbilidades, y su vínculo One Health con	4.1. Extraer información productiva y sanitaria. 4.2. Analizar el vínculo One Health. 4.3. Integrar la evidencia científica.	Análisis e integración de la evidencia científica desde el enfoque One Health.	Sección de Resultados 3.

la calidad/inocuidad y seguridad alimentaria.			
Fase de cierre metodológico	5.1. Redactar discusión y conclusiones. 5.2. Elaborar tablas de síntesis y diagrama de flujo PRISMA. 5.3. Revisión final del manuscrito.	Integración de resultados y elaboración del informe final.	Manuscrito final de la tesis.

Fuente: Elaboración propia.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1.Fundamentos del enfoque Una Salud

El enfoque Una Salud integra la salud animal, la salud humana, la producción de alimentos y el ambiente. En el caso de las vacas lecheras, las enfermedades metabólicas no solo afectan el bienestar y la productividad del animal, sino también la disponibilidad de leche, la calidad del producto, la eficiencia del sistema productivo y la sostenibilidad de la cadena láctea (Tufarelli et al., 2024).

7.2.Relación entre salud animal, producción láctea y seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria consiste en poder asegurar la existencia de suficiente, estable y segura disponibilidad de alimentos. Cuando una vaca lechera tiene trastornos metabólicos en el periodo de transición puede disminuir la cantidad de leche que produce, aumentar el riesgo de enfermedades secundarias a requerir tratamientos, presentar problemas reproductivos y salir prematuramente del sistema productivo. Todo esto podría llegar a afectar el volumen, la estabilidad y la calidad del suministro lácteo (Duque, 2025).

7.3. Periodo de transición como etapa crítica en la vaca lechera

El periodo de transición entiende aproximadamente tres semanas antes del parto y tres semanas después del parto. Durante esta etapa, la vaca enfrenta cambios fisiológicos intensos

relacionados con el inicio de la lactancia, el aumento de la demanda energética, los cambios hormonales, el consumo de materia seca, el metabolismo mineral y la función ruminal (Carranza, 2022).

7.4.Enfermedades metabólicas prioritarias durante el periodo de transición

En esta revisión se priorizan cuatro trastornos metabólicos:

- Cetosis e hígado graso.
- Hipocalcemia.
- Hipomagnesemia.
- Acidosis ruminal subaguda.

Estas enfermedades se seleccionan porque son frecuentes en vacas lecheras de alta demanda productiva, se relacionan con fallas de adaptación metabólica y pueden generar consecuencias productivas, reproductivas y sanitarias (Sepúlveda, 2023).

7.5.Definición y clasificación de las enfermedades metabólicas prioritarias

7.5.1. Cetosis clínica y cetosis subclínica

La cetosis es un trastorno metabólico asociado al balance energético negativo. Ocurre cuando la vaca no consume suficiente energía para cubrir los requerimientos de mantenimiento y producción de leche, por lo que moviliza grasa corporal. Como resultado, aumentan los cuerpos cetónicos en sangre, leche u orina (Diaz, 2021).

La clínica de la cetosis se determina por signos evidentes como: disminución del apetito, pérdida del estado de condición corporal, descenso de la producción de leche, y en determinadas ocasiones puede presentar signos nerviosos. La cetosis subclínica no posee signos evidentes, si no se puede determinar mediante biomarcadores como el beta-hidroxibutirato (Echeverría et al., 2024).

7.5.2. Hígado graso

El hígado graso se produce cuando existe acumulación excesiva de grasa en el hígado, especialmente durante el posparto temprano. Se relaciona con movilización intensa de tejido

adiposo, aumento de ácidos grasos no esterificados en sangre y limitada capacidad hepática para metabolizar estos lípidos (Avilés Ruíz et al., 2024).

7.5.3. Hipocalcemia clínica y subclínica

La hipocalcemia es la disminución de calcio en sangre durante el periodo cercano al parto. En su forma clínica puede manifestarse como fiebre de leche, debilidad, incapacidad para levantarse, disminución de la motilidad ruminal y compromiso general. En su forma subclínica no siempre hay signos evidentes, pero puede afectar la función muscular, inmunitaria y digestiva (Núñez, 2019).

7.5.4. Hipomagnesemia clínica y subclínica

La hipomagnesemia es la disminución del magnesio en sangre. El magnesio es fundamental para la función neuromuscular y participa indirectamente en la regulación del metabolismo del calcio. Su deficiencia puede agravar alteraciones minerales del periodo de transición (Kang et al., 2025).

7.5.5. Acidosis ruminal subaguda

La acidosis ruminal subaguda es una alteración digestiva caracterizada por disminuciones repetidas del pH ruminal, generalmente asociadas a dietas ricas en carbohidratos fermentables y bajas en fibra efectiva. Esta condición afecta el microbiota ruminal, la digestión, la producción de leche, la salud podal y el bienestar animal (Golder & Lean, 2024).

Tabla 2

Definición operativa de las enfermedades metabólicas incluidas en la revisión

Enfermedad	Definición resumida	Forma clínica	Forma subclínica
Cetosis	Aumento de cuerpos cetónicos por balance energético negativo	Presenta signos visibles de enfermedad	No presenta signos evidentes, pero altera metabolismo y producción

Enfermedad	Definición resumida	Forma clínica	Forma subclínica
Hígado graso	Acumulación excesiva de grasa en el hígado	Puede asociarse con decaimiento y bajo desempeño	Puede pasar desapercibido y acompañar cetosis subclínica
Hipocalcemia	Disminución del calcio sanguíneo	Debilidad, postración o fiebre de leche	Alteración funcional sin signos evidentes
Hipomagnesemia	Disminución del magnesio sanguíneo	Signos neuromusculares en casos severos	Alteración mineral poco evidente
Acidosis ruminal subaguda	Disminución repetida del pH del rumen	Puede asociarse con diarrea, baja rumia o laminitis	Cambios digestivos y productivos sin signos marcados

Fuente: Tomado de Golder y Lean (2024).

7.6.Fisiopatología y mecanismos biológicos de las alteraciones metabólicas

7.6.1. Balance energético negativo en el periodo de transición

El balance energético negativo ocurre cuando la energía que consume la vaca es menor que la energía que necesita para mantenimiento, gestación final e inicio de lactancia. Esta situación favorece la movilización de grasa corporal y el aumento de ácidos grasos no esterificados (Echeverría et al., 2024).

7.6.2. Ácidos grasos no esterificados y beta-hidroxibutirato

Los ácidos grasos no esterificados aumentan cuando la vaca moviliza grasa corporal. El beta-hidroxibutirato es un cuerpo cetónico que aumenta cuando existe una mayor producción de cetonas. Ambos biomarcadores son fundamentales para evaluar riesgo de cetosis e hígado graso (Robichaud et al., 2024).

7.6.3. Homeostasis del calcio y respuesta posparto

La homeostasis del calcio depende de la regulación hormonal, la movilización ósea, la absorción intestinal y la activación metabólica de la vitamina D. Cuando la vaca no logra

adaptarse rápidamente a la alta demanda de calcio para la producción de calostro y leche, aparece hipocalcemia (Echeverría et al., 2024).

7.6.4. Función del magnesio en la regulación mineral

El magnesio participa en la función neuromuscular y en la respuesta metabólica relacionada con el calcio. Por ello, la hipomagnesemia puede afectar la capacidad de la vaca para mantener una adecuada regulación mineral durante el periodo de transición (Khiaosa-ard et al., 2023).

7.6.5. Microbiota ruminal, fibra efectiva y pH ruminal

La acidosis ruminal subaguda se relaciona con dietas altas en almidón, baja fibra efectiva, cambios bruscos de alimentación y alteraciones de la fermentación ruminal. Cuando el pH ruminal disminuye repetidamente, se afecta el microbiota, la digestión de fibra y la salud general del animal (Matthews et al., 2019).

Tabla 3

Mecanismos fisiopatológicos principales de los trastornos metabólicos

Enfermedad	Mecanismo principal	Factor desencadenante frecuente	Consecuencia biológica
Cetosis	Movilización excesiva de grasa corporal	Bajo consumo de materia seca y alta demanda de leche	Aumento de cuerpos cetónicos y reducción del desempeño
Hígado graso	Acumulación de grasa en el hígado	Movilización intensa de ácidos grasos no esterificados	Alteración del metabolismo hepático
Hipocalcemia	Incapacidad de mantener calcio sanguíneo adecuado	Alta demanda de calcio al parto	Disminución de función muscular, rumia e inmunidad

Hipomagnesemia	Deficiencia de magnesio disponible	Dietas o pasturas con bajo aporte de magnesio	Alteración neuromuscular y mineral
Acidosis ruminal subaguda	Disminución repetida del pH ruminal	Dietas altas en concentrado y baja fibra efectiva	Alteración de microbiota ruminal y digestión

Fuente: Tomado de Liu et al. (2021).

7.7.Epidemiología, prevalencia y factores de riesgo

7.7.1. Prevalencia e incidencia durante el periodo de transición

La prevalencia e incidencia de las enfermedades metabólicas durante el periodo de transición varían según el sistema de producción, el nivel productivo, la alimentación, la genética, la condición corporal, el número de partos, el manejo del periodo seco y los criterios diagnósticos utilizados. Por esta razón, los valores reportados en la literatura no deben interpretarse como cifras únicas, sino como rangos aproximados que permiten dimensionar la importancia sanitaria de estos trastornos en vacas lecheras (Armstrong et al., 2026).

En términos generales, la cetosis subclínica y la hipocalcemia subclínica suelen reportarse con mayor frecuencia que sus formas clínicas, precisamente porque pueden pasar desapercibidas si no se realiza monitoreo metabólico. En cambio, la acidosis ruminal subaguda presenta una prevalencia muy variable, debido a las diferencias en la dieta, el método de medición del pH ruminal y el momento de evaluación. La hipomagnesemia suele estar más asociada a condiciones nutricionales específicas, especialmente en sistemas pastoriles o dietas con desequilibrios minerales (Peña & McCarville, 2025).

Tabla 4

Prevalencia aproximada reportada de enfermedades metabólicas en vacas lecheras durante el periodo de transición

Enfermedad metabólica	Rango de prevalencia reportado en la literatura	Momento de mayor presentación	Consideración para la revisión
Cetosis clínica	Aproximadamente 2 % a 15 %	Primeras semanas posparto	Menos frecuente que la forma subclínica, pero con mayor expresión clínica y productiva
Cetosis subclínica	Aproximadamente 7,5 % a 34 %	Primeras 2 a 6 semanas posparto	Alta relevancia porque puede pasar desapercibida y afectar producción, fertilidad y riesgo de enfermedades secundarias
Hígado graso	Aproximadamente 5 % a 25 %, según criterio diagnóstico	Posparto temprano, especialmente en vacas con balance energético negativo severo	Frecuentemente asociado a cetosis y movilización excesiva de grasa corporal
Hipocalcemia clínica	Aproximadamente 2 % a 10 %	Parto y primeras 24 a 48 horas posparto	Forma visible de alteración mineral, asociada a debilidad, postración y enfermedades secundarias
Hipocalcemia subclínica	Aproximadamente 8 % a 54 %	Primeras 24 a 72 horas posparto	Muy relevante por su alta frecuencia y relación con función muscular, ruminal e inmunitaria
Hipomagnesemia	Aproximadamente 1 % a 10 %, con variación según sistema alimentario	Posparto y periodos de riesgo mineral	Puede estar subdiagnosticada y relacionarse con fallas en la homeostasis del calcio
Acidosis ruminal subaguda	Aproximadamente 10 % a 40 %, según dieta y método diagnóstico	Inicio de lactancia y adaptación a dietas altas en concentrado	Su prevalencia varía ampliamente por la dificultad diagnóstica y la

Enfermedad metabólica	Rango de prevalencia reportado en la literatura	Momento de mayor presentación	Consideración para la revisión
			variabilidad del pH ruminal

Fuente: Tomado de Sundrum (2025).

7.8.Factores de riesgo para enfermedades metabólicas

Factores de riesgo de cetosis e hígado graso. Los principales factores de riesgo incluyen condición corporal elevada al parto, baja ingesta de materia seca, transición nutricional deficiente, alta producción de leche, enfermedades posparto y movilización excesiva de reservas corporales (Duque, 2025).

Factores de riesgo de hipocalcemia. La hipocalcemia se asocia con edad, número de partos, alta demanda de calcio al inicio de la lactancia, manejo mineral preparto, dietas con balance catión-anión inadecuado y fallas en la adaptación metabólica (Gallegos & Fonseca, 2021).

Factores de riesgo de hipomagnesemia. La hipomagnesemia puede relacionarse con bajo consumo de magnesio, pasturas con composición mineral desfavorable, alteraciones de absorción ruminal y alta demanda metabólica durante el periodo de transición (Udainiya et al., 2024).

Factores de riesgo de acidosis ruminal subaguda. Los factores principales incluyen dietas con exceso de concentrado, baja fibra efectiva, cambios bruscos de dieta, tamaño de partícula inadecuado, alta fermentación ruminal y manejo alimentario deficiente (Ramos et al., 2022).

Tabla 5

Prevalencia y factores de riesgo que deben integrarse en la revisión

Enfermedad	Momento de mayor riesgo	Factores de riesgo animal	Factores de riesgo nutricional o de manejo	Resultado esperado en la revisión
Cetosis e hígado graso	Primeras semanas posparto	Alta producción, exceso de condición corporal, mayor número de partos	Bajo consumo de materia seca, transición alimentaria deficiente	Describir qué condiciones aumentan la presentación de cetosis e hígado graso
Hipocalcemia	Parto y primeras horas o días posparto	Vacas adultas, mayor número de lactancias, alta demanda de calcio	Manejo mineral inadecuado, balance catión-anión deficiente	Identificar factores que predisponen a hipocalcemia clínica y subclínica
Hipomagnesemia	Posparto y sistemas pastoriles	Alta demanda metabólica, susceptibilidad individual	Bajo aporte de magnesio, pasturas con desequilibrio mineral	Incorporar la hipomagnesemia como trastorno mineral relevante
Acidosis ruminal subaguda	Inicio de lactancia y adaptación dietaria	Vacas de alta producción, cambios de consumo	Exceso de almidón, baja fibra efectiva, cambios bruscos de dieta	Relacionar manejo alimentario con alteración ruminal

Fuente: Tomado de Duque (2025); Gallegos y Fonseca, (2021); Ramos et al. (2022).

7.9.Diagnóstico y biomarcadores durante el periodo de transición

7.9.1. Diagnóstico de cetosis e hígado graso

El diagnóstico se basa principalmente en la medición de beta-hidroxibutirato y ácidos grasos no esterificados. El beta-hidroxibutirato se usa con frecuencia para detectar cetosis clínica o subclínica durante el posparto temprano. Los ácidos grasos no esterificados pueden ser útiles antes o alrededor del parto para evaluar movilización de grasa corporal (Chavarría et al., 2023).

7.9.2. Diagnóstico de hipocalcemia

La hipocalcemia se diagnostica mediante medición de calcio total o calcio ionizado en sangre. El calcio ionizado representa la fracción biológicamente activa, mientras que el calcio total puede verse influido por proteínas sanguíneas y otros factores (Gallegos & Fonseca, 2021).

7.9.3. Diagnóstico de hipomagnesemia

La hipomagnesemia se mide mediante magnesio sérico o plasmático y su interpretación debe ser correlacionada con signos clínicos, dieta, sistema de alimentación y la presencia de otros trastornos minerales salvo la hipocalcemia (Udainiya et al., 2024).

7.9.4. Diagnóstico de acidosis ruminal subaguda

El diagnóstico de acidosis ruminal subaguda puede incluir el siguiente arsenal de recursos analíticos: medición de pH ruminal, evaluación de las heces, observación de la rumia o presencia de laminitis, así como los cambios en los datos de grasa en leche o en la relación grasa-proteína en leche (Golder & Lean, 2024).

7.9.5. Ventanas temporales de medición

Las ventanas temporales son importantes porque cada trastorno tiene momentos de mayor expresión metabólica. La cetosis suele detectarse con mayor frecuencia en el posparto temprano; la hipocalcemia alrededor del parto; la hipomagnesemia durante el posparto y según condiciones alimentarias; y la acidosis ruminal subaguda durante la adaptación a dietas de lactancia (Larrotta & Cadena, 2025).

Tabla 6

Métodos diagnósticos y ventanas temporales de medición

Enfermedad	Método diagnóstico principal	Muestra o indicador	Ventana temporal relevante	Utilidad del diagnóstico
Cetosis	Medición de beta-hidroxibutirato	Sangre, leche u orina	Primeras semanas posparto	Detectar cetosis clínica y subclínica
Hígado graso	Evaluación de movilización grasa y función hepática	Ácidos grasos no esterificados, beta-hidroxibutirato y pruebas hepáticas	Preparto y posparto temprano	Identificar riesgo de acumulación de grasa hepática
Hipocalcemia	Medición de calcio total o calcio ionizado	Sangre	Alrededor del parto y primeras horas posparto	Identificar alteración mineral clínica o subclínica
Hipomagnesemia	Medición de magnesio sérico o plasmático	Sangre	Posparto y periodos de riesgo alimentario	Evaluar deficiencia mineral y riesgo neuromuscular
Acidosis ruminal subaguda	Medición de pH ruminal y evaluación indirecta	Líquido ruminal, heces, rumia, composición de leche	Inicio de lactancia y adaptación dietaria	Detectar alteración ruminal y riesgo digestivo

Fuente: Tomado de Larrotta y Cadena (2025).

7.10. Impacto en producción de leche, fertilidad y salud animal

7.10.1. Impacto sobre producción de leche

Las enfermedades metabólicas pueden disminuir el consumo, alterar la eficiencia alimentaria y reducir el volumen de leche. Además, pueden modificar componentes lácteos como grasa y proteína, especialmente cuando existe alteración ruminal o movilización energética intensa (Avilés Ruíz et al., 2024).

7.10.2. Impacto sobre fertilidad

Los trastornos metabólicos pueden retrasar la recuperación posparto, afectar la función ovárica, aumentar los días abiertos, disminuir la tasa de concepción y aumentar la probabilidad de problemas reproductivos (Carranza, 2022).

7.10.3. Comorbilidades asociadas

La cetosis, hipocalcemia, hipomagnesemia y acidosis ruminal subaguda pueden aumentar el riesgo de otras enfermedades como metritis, mastitis, desplazamiento de abomaso, retención de placenta, laminitis y cojeras (Alvarado, 2025).

7.10.4. Riesgo de descarte, mortalidad y pérdidas económicas

Cuando los trastornos metabólicos no se detectan ni manejan oportunamente, pueden aumentar el riesgo de descarte prematuro, mortalidad, gastos veterinarios, pérdidas reproductivas y disminución de la rentabilidad (Duque, 2025).

Tabla 7

Impacto productivo y reproductivo de las enfermedades metabólicas

Enfermedad	Impacto sobre producción de leche	Impacto sobre fertilidad	Comorbilidades asociadas	Consecuencia productiva
Cetosis e hígado graso	Disminución de producción y	Retraso en recuperación reproductiva	Metritis, desplazamiento de abomaso, mastitis	Menor desempeño productivo y

	eficiencia alimentaria			mayor riesgo de descarte
Hipocalcemia	Menor consumo, menor rumia y posible caída productiva	Mayor riesgo de problemas posparto	Retención de placenta, metritis, mastitis	Aumento de enfermedades secundarias
Hipomagnesemia	Disminución del desempeño por alteración neuromuscular	Puede afectar recuperación general posparto	Hipocalcemia asociada, debilidad, trastornos neuromusculares	Inestabilidad sanitaria del hato
Acidosis ruminal subaguda	Alteración de grasa en leche y eficiencia alimentaria	Efecto indirecto por estrés metabólico y baja condición	Laminitis, cojeras, diarrea, baja rumia	Reducción de productividad y bienestar

Fuente: Tomado de Duque (2025).

7.11. Implicaciones para inocuidad y seguridad alimentaria

7.11.1. Enfermedades metabólicas y disponibilidad de leche

Cuando los trastornos metabólicos reducen la producción, aumentan el descarte de vacas o generan pérdidas reproductivas, se afecta la disponibilidad de leche en el sistema productivo. Esto tiene implicaciones para la seguridad alimentaria, especialmente en sistemas donde la producción láctea es una fuente clave de alimento e ingresos (Suárez, 2024).

7.11.2. Calidad de leche y composición

Algunas enfermedades metabólicas pueden afectar indirectamente la composición de la leche, especialmente cuando alteran consumo, rumia, grasa láctea, proteína o salud mamaria. La acidosis ruminal subaguda, por ejemplo, puede asociarse con cambios en la grasa de la leche (Arisnabarreta, 2023).

7.11.3. Relación con enfermedades secundarias, tratamientos e inocuidad

Las enfermedades metabólicas pueden predisponer a enfermedades infecciosas que son secundarias como por ejemplo mastitis o metritis y por tanto pueden también ocasionar un aumento de los tratamientos clínicos. Y cuando se aplican tratamientos con fármacos, es necesario cumplir con los tiempos de retiro para evitar residuos de fármacos en la leche o en la carne (Suárez, 2024).

7.11.4. Estabilidad del suministro lácteo y sostenibilidad

La seguridad alimentaria no es únicamente demostrar que se produce más leche, al contrario, se requiere demostrar que se produce leche de forma sostenida, segura y sostenible en el tiempo. La prevención de trastornos metabólicos contribuye a mejorar la eficiencia productiva, reducir pérdidas y sostener la disponibilidad de alimentos de origen animal (Priyashantha, 2025).

Tabla 8

Vínculo entre enfermedades metabólicas, inocuidad y seguridad alimentaria

Componente	Relación con enfermedades metabólicas	Riesgo o consecuencia	Implicación para seguridad alimentaria
Disponibilidad de leche	Las enfermedades metabólicas reducen producción y eficiencia	Menor volumen producido	Menor disponibilidad de alimento lácteo
Calidad de leche	Alteraciones metabólicas pueden afectar composición y salud mamaria	Cambios en grasa, proteína o calidad higiénica indirecta	Menor calidad nutricional o tecnológica
Inocuidad	Enfermedades secundarias pueden requerir tratamientos	Riesgo de residuos si no se respetan tiempos de retiro	Necesidad de control sanitario y registros

Fertilidad	Los trastornos metabólicos retrasan la reproducción	Menor eficiencia reproductiva del hato	Menor estabilidad futura de producción
Bienestar animal	Dolor, debilidad, cojeras o enfermedad posparto	Mayor sufrimiento y menor longevidad	Producción menos sostenible
Sostenibilidad	Menor eficiencia por vaca enferma	Más recursos por litro de leche útil	Mayor presión sobre el sistema productivo

Fuente: Tomado de Priyashantha (2025) y Matthews et al. (2019).

7.12. Prevención, monitoreo y manejo integral del periodo de transición

7.12.1. Manejo nutricional del periodo de transición

La prevención requiere dietas adecuadas antes y después del parto, control del consumo de materia seca, manejo de energía, fibra efectiva, minerales y adaptación gradual a dietas de lactancia (Armstrong et al., 2026).

7.12.2. Control de condición corporal

La condición corporal excesiva al parto aumenta el riesgo de cetosis e hígado graso. Una condición corporal deficiente también puede comprometer adaptación productiva y reproductiva (Duque, 2025).

7.12.3. Estrategias específicas de prevención

Entre las estrategias preventivas se incluyen manejo energético, suplementación mineral, sales aniónicas cuando correspondan, aporte de magnesio, control del balance catión-anión dietario, uso de precursores energéticos, buffers ruminales y manejo de fibra efectiva (Loja, 2022).

7.12.4. Monitoreo en granja

El monitoreo en granja permite detectar tempranamente animales en riesgo. Puede incluir evaluación de condición corporal, consumo, rumia, producción de leche, composición

láctea, conteo de células somáticas, pH ruminal, beta-hidroxibutirato, calcio y magnesio (Loor, 2024).

Tabla 9

Estrategias de prevención y monitoreo en el periodo de transición

Área de intervención	Acción recomendada	Enfermedad que ayuda a prevenir	Resultado esperado
Condición corporal	Evitar vacas demasiado gordas o demasiado delgadas al parto	Cetosis, hígado graso y baja fertilidad	Mejor adaptación metabólica
Energía de la dieta	Ajustar energía en preparto y posparto	Cetosis e hígado graso	Menor movilización de grasa corporal
Minerales	Controlar calcio, magnesio y balance mineral	Hipocalcemia e hipomagnesemia	Mejor estabilidad mineral
Fibra efectiva	Garantizar adecuada fibra y tamaño de partícula	Acidosis ruminal subaguda	Mejor rumia y pH ruminal
Adaptación alimentaria	Evitar cambios bruscos de dieta	Acidosis ruminal subaguda y bajo consumo	Mejor transición digestiva
Monitoreo metabólico	Medir biomarcadores en animales de riesgo	Todas las enfermedades priorizadas	Detección temprana
Registros productivos	Registrar partos, tratamientos, producción y reproducción	Todas	Mejor toma de decisiones

Fuente: Tomado de Loor (2024).

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

- P (Población): Vacas lecheras de alta producción durante el periodo de transición.

- I (Intervención): Control y prevención, diagnóstico de enfermedades metabólicas (Cetosis, Hígado Graso, Hipocalcemia, Hipomagnesemia, SARA).
- C (Comparación): Parámetros de salud reproductiva y productividad, e inocuidad alimentaria en comparación con los animales que no están bajo control (sin que el control sea efectivo).
- O (Outcome/Resultados): Mejora en los niveles de productividad, mejora en la calidad del producto final y estabilización de la inocuidad alimentaria.

Pregunta central: *¿Cómo afecta la eficiencia en el diagnóstico precoz y control de factores de riesgo en enfermedades metabólicas durante el periodo de transición a la productividad lechera, y, por ende, a la inocuidad alimentaria total desde un marco "One Health"?*

9. METODOLOGÍA

9.1.Diseño de la investigación

El trabajo expuesto se desarrollará en la modalidad de revisión sistemática simplificada de tipo cualitativo/alcance descriptivo, lo que asegura la rigurosidad, la replicabilidad y la claridad metodológica a partir de una búsqueda exhaustiva, una preselección regulada y una evaluación crítica de la evidencia científica, evitando de esta manera sesgos de selección y el riesgo de subjetivismo en la interpretación de los resultados. El estudio adopta el enfoque multidimensional de *One Health* (Una Sola Salud) para analizar la interconexión entre los trastornos metabólicos del ganado, la salud pública y el equilibrio ambiental.

Este diseño garantizó la incorporación de procedimientos ordenados de búsqueda, selección, extracción y síntesis de la evidencia actual. Sin embargo, no cumple con los requisitos estrictos de una revisión sistemática formal (tales como el registro previo de protocolos, evaluaciones formales del riesgo de sesgo mediante herramientas estandarizadas y metaanálisis) (Page et al., 2020). No obstante, se tomaron como referencia metodológica los

principios generales de la guía PRISMA 2020 para optimizar la transparencia en la presentación de los resultados, sin que esto constituya una revisión sistemática completa (Page et al., 2020).

El diseño metodológico priorizó un proceso estructurado, reproducible y exhaustivo de la información científica sobre los trastornos metabólicos en el ganado lechero y su vínculo con la cadena agroalimentaria. En esta sección se detallan de forma minuciosa las fases metodológicas, las bases de datos consultadas, los operadores booleanos, las cadenas de búsqueda aplicadas, los criterios de elegibilidad, la extracción de variables y el uso de matrices metodológicas (Page et al., 2020).

9.2. Tipo de revisión y justificación metodológica

Una revisión sistemática representa una investigación secundaria orientada a responder preguntas específicas mediante métodos explícitos, transparentes y reproducibles para identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar la evidencia disponible, reduciendo así el sesgo en la selección de estudios (Page et al., 2021).

Por el contrario, una revisión narrativa simple describe un tema de manera general y flexible, sin exigir una búsqueda documentada rigurosa, criterios estrictos de inclusión y exclusión, o matrices de trazabilidad. El presente trabajo no se clasifica como una revisión narrativa simple, ya que plantea una pregunta orientadora bajo la estrategia PICO, emplea bases de datos definidas, criterios explícitos de elegibilidad y matrices de análisis estructuradas.

Por lo tanto, la denominación más adecuada es la de revisión bibliográfica estructurada con aproximación sistemática y síntesis narrativa. Esta categoría reconoce el uso de pasos sistematizados sin sobredimensionar el alcance metodológico al carecer de los componentes formales de una revisión sistemática estricta. La claridad en el objeto de estudio, la trazabilidad de las fuentes y la coherencia entre la pregunta de investigación, los objetivos, los

métodos y el análisis constituyen los pilares que fortalecen el proceso realizado (Tabla 9) (Ramírez, 2019; Hernández et al., 2014).

Tabla 10.

Diferenciación metodológica del tipo de revisión empleada

Tipo de revisión	Características principales	Aplicación en este estudio
Revisión narrativa simple	Describe un tema bajo un enfoque general, con un menor nivel de exigencia en la trazabilidad de búsqueda, selección y extracción.	No corresponde de forma completa, ya que este estudio aplicó una búsqueda estructurada, criterios de selección y matrices de análisis.
Revisión sistemática estricta	Incluye un protocolo previo, búsqueda exhaustiva y procesos estandarizados de evaluación de sesgos y metaanálisis.	No se desarrolló un registro de esta magnitud.
Revisión bibliográfica estructurada con aproximación sistemática	Desarrolla una pregunta PICO, acompañada de criterios y matrices para la extracción de información.	Es la denominación más adecuada para esta investigación.

Fuente: Elaboración propia.

9.3.Diferencia entre estudios primarios y estudios secundarios

Para el desarrollo de la revisión se consideraron tanto estudios primarios como secundarios.

- Estudios primarios: Corresponden a investigaciones originales basadas en la recolección directa de datos. En esta categoría se incluyeron ensayos nutricionales y metabólicos, estudios sobre patologías como cetosis y fiebre de leche, evaluaciones de

desempeño productivo y reproductivo, calidad de la leche, así como investigaciones microbiológicas e inmunológicas relacionadas con la salud del hato lechero.

- Estudios secundarios: Comprenden investigaciones que sintetizan evidencia previamente publicada, tales como revisiones sistemáticas, metaanálisis, revisiones narrativas y documentos técnicos o normativos. Estos insumos fueron fundamentales para contextualizar el debate en torno al impacto económico, el bienestar animal, la inocuidad de la leche y los riesgos asociados para la salud pública.

La integración de ambos tipos de documentos se justifica debido a que la problemática de las enfermedades metabólicas en el ganado lechero no es exclusivamente productiva. Por el contrario, requiere un abordaje multidisciplinario que combine evidencia zootécnica, nutricional, toxicológica, epidemiológica y normativa, en estricta coherencia con el enfoque de Una Salud, el cual vincula la salud humana, la sanidad animal, los sistemas de producción y la seguridad alimentaria mundial (Caixeta & Omontese, 2021).

9.4.Delimitación del alcance mediante estrategia PECO

Para el desarrollo de la investigación se formuló una pregunta PECO que garantizó una estructura rigurosa en el proceso de revisión, organizada en función de la población, las intervenciones o exposiciones, las comparaciones y los resultados esperados. Dentro del marco del proyecto, la población seleccionada fueron las vacas lecheras, la exposición comprendió las enfermedades metabólicas (tales como cetosis, hipocalcemia o acidosis ruminal subaguda), la comparación se estableció entre vacas sanas o con manejo preventivo frente a vacas afectadas por trastornos metabólicos, y los resultados se centraron en el impacto sobre la producción de leche, la eficiencia reproductiva y su implicación directa en la seguridad alimentaria. Esta estructura permitió alinear los hallazgos con cada uno de los objetivos específicos del estudio.

9.4.1. Población de estudio y muestra (estrategia PECO)

La población de estudio estará constituida por la totalidad de la literatura científica, reportes técnicos y documentos epidemiológicos disponibles en las bases de datos seleccionadas que aborden la salud metabólica bovina y sus implicaciones sanitarias.

Para delimitar toda la muestra elegible, se estableció una pregunta de investigación en función de la estrategia PECO:

- **Población (P):** conjunto de las vacas lecheras durante todo el período para la transición y lactación temprana, alcanzando a abarcar los diferentes sistemas de producción familiares e incluso comerciales.
- **Exposición (E):** con metabolopatías para un período de transición, de manera específica: cetosis, hipocalcemia a niveles (clínicos y subclínicos), subaguda (SARA) e hígado graso.
- **Comparador (C):** vacas que no padecen trastornos metabólicos o bajo tractos de manejo estándar.
- **Resultados/Outcomes (O):** los resultados que se evalúan en base a tres dimensiones integradas.

9.4.2. Intervención o exposición

La intervención o exposición correspondió a la presencia, desarrollo o manejo de las enfermedades metabólicas en el hato lechero. En esta fase se consideraron trastornos de transición y de balance energético negativo, tales como:

- La cetosis clínica y subclínica.
- La hipocalcemia o fiebre de leche.
- La acidosis ruminal subaguda (SARA).

- El desplazamiento de abomaso y el síndrome del hígado graso. Asimismo, se evaluaron las exposiciones a factores de riesgo predisponentes, como los desbalances en la dieta durante el periodo seco, el manejo nutricional inadecuado y las fallas en el confort y bienestar del animal durante la transición.

9.4.3. Comparación

La comparación principal se realizó entre vacas lecheras sanas o con un adecuado control metabólico frente a vacas que presentaron o padecieron enfermedades metabólicas durante el periodo de transición o la lactancia. Cuando los estudios no contaban con este grupo control directo, las comparaciones se establecieron entre diferentes sistemas de manejo nutricional, programas de prevención con aditivos o sales aniónicas, y distintas estrategias de manejo de la condición corporal en el preparto y postparto. Adicionalmente, se contrastaron los marcos normativos y las directrices internacionales sobre el bienestar animal y la sanidad en hatos lecheros.

9.4.4. Resultado

Los resultados analizados se organizaron en función de los objetivos específicos de la investigación:

- Impacto productivo y económico: Se consideraron la disminución en la producción de leche, la calidad composicional de la misma (grasa, proteína y células somáticas), la alteración en la eficiencia reproductiva (días abiertos, servicios por concepción) y el incremento en las tasas de desecho temprano o mortalidad del ganado.
- Seguridad alimentaria e inocuidad: en cómo las afecciones pueden afectar la calidad de vida del ser humano.

- Bienestar animal y cuestiones bioéticas: en función de las diferentes perspectivas de la sociedad.

9.5.Pregunta orientadora de la revisión

¿En qué medida las enfermedades metabólicas en vacas lecheras afectan la eficiencia productiva del hato y comprometen la seguridad alimentaria, la inocuidad de la leche y el bienestar animal?

9.6.Fuentes de información y bases de datos consultadas

La búsqueda bibliográfica se realizó en diversas bases de datos científicas, motores académicos y fuentes normativas. Las fuentes principales incluyeron PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO y Google Académico.

9.6.1. PubMed/MEDLINE

PubMed/MEDLINE se utilizó para recuperar la literatura biomédica relacionada con la salud pública, la toxicología, la calidad de la leche, las enfermedades metabólicas, la inocuidad alimentaria y los riesgos sanitarios vinculados a los trastornos en vacas lecheras.

9.6.2. Web of Science

Web of Science permitió la identificación de artículos indexados, revisiones recientes y estudios con trazabilidad bibliométrica sobre enfermedades metabólicas, cetosis, hipocalcemia, acidosis ruminal y enfoques de seguridad alimentaria.

9.6.3. SciELO

SciELO se empleó para recuperar literatura científica regional en español y portugués, enfocada en estudios de ganadería lechera en Latinoamérica, producción de leche, inocuidad, bienestar animal y normativas sanitarias locales.

9.6.4. Google Académico

Google Académico se utilizó como complemento para ampliar la búsqueda hacia literatura gris, tesis, repositorios, documentos técnicos, informes regulatorios y publicaciones institucionales. Se priorizaron documentos con autoría verificable, texto completo y relación directa con los objetivos de la investigación.

Tabla 11

Estrategias de búsqueda avanzada y filtros por bloques temáticos bajo el enfoque One Health

Dimensión / Bloque	Plataformas de Búsqueda	Cadenas de Búsqueda (Sintaxis Avanzada)	Filtros Aplicados
3.1. Definiciones, Fisiopatología y Diagnósticos	PubMed, Scopus, Google Scholar, SciELO	**ES:** (vacas lecheras) AND (cetosis OR hipocalcemia OR "acidosis ruminal subaguda" OR SARA OR "hígado graso") AND (fisiopatología OR mecanismo OR "puntos de corte" OR BHBA OR NEFA OR "calcio ionizado" OR "pH ruminal")**EN:** (dairy cows) AND (ketosis OR "subclinical hypocalcemia" OR SARA OR "fatty liver") AND (pathophysiology OR mechanism OR "cutoff" OR	Periodo: 2010–2025.Idiomas: Inglés, Español.Documentos: Artículos originales, Revisiones (Review).Google Scholar: Excluir patentes y citas (-patent -citation).

Dimensión / Bloque	Plataformas de Búsqueda	Cadenas de Búsqueda (Sintaxis Avanzada)	Filtros Aplicados
		BHBA OR NEFA OR "ionized calcium" OR "rumen pH")**Biomarcadores (EN):** (dairy cows) AND (BHBA OR NEFA OR "ionized calcium" OR "milk fat to protein ratio") AND (ketosis OR hypocalcemia OR SARA) AND (threshold OR cutoff)	
3.2. Epidemiología y Factores de Riesgo	PubMed, Scopus, Google Scholar, SciELO	**ES:** (vacas lecheras) AND (cetosis OR hipocalcemia OR SARA OR "hígado graso") AND (prevalencia OR incidencia OR "factores de riesgo")**EN:** (dairy cows) AND (ketosis OR "subclinical hypocalcemia" OR SARA OR "fatty liver") AND (prevalence OR incidence OR "risk factors") (Opcional pequeña escala: AND (smallholder OR "family dairy" OR pastoral*))	Mismos criterios de idioma y periodo. En SciELO/RedALyC se priorizan sinónimos locales ("subclínica", "posparto").
3.3. Impacto Productivo y Sanitario	PubMed, Scopus, Google Scholar, SciELO	**ES:** (vacas lecheras) AND (cetosis OR hipocalcemia OR SARA) AND ("producción de leche" OR fertilidad OR "días abiertos" OR mastitis OR metritis OR "desplazamiento de abomaso")**EN:** (dairy cows) AND (ketosis OR hypocalcemia	Periodo: 2010–2025.Ordenamiento: Más reciente (Most recent) y más citado (Cited by).

Dimensión / Bloque	Plataformas de Búsqueda	Cadenas de Búsqueda (Sintaxis Avanzada)	Filtros Aplicados
		OR SARA) AND ("milk yield" OR fertility OR "days open" OR mastitis OR metritis OR "displaced abomasum")	
3.4. Inocuidad y Seguridad Alimentaria	PubMed, Scopus, Google Scholar, Codex Alimentarius	**ES:** (leche) AND (residuos OR inocuidad OR "límite MRL" OR "calidad de leche" OR "recuento somático" OR "ácidos grasos libres") AND (vacas lecheras) AND (cetosis OR hipocalcemia OR SARA)**EN:** (milk) AND ("antimicrobial residues" OR "MRL" OR "milk quality" OR "somatic cell count" OR "free fatty acids") AND (dairy cows) AND (ketosis OR hipocalcemia OR SARA)**Filtro Normativo:** site:codexalimentarius.org MRL milk	Restricción estricta a límites regulatorios vigentes internacionales.
3.5. AMR y Uso de Antimicrobianos	PubMed, Scopus, Google Scholar	**ES:** (vacas lecheras) AND (antimicrobianos OR antibióticos) AND (uso OR tratamientos) AND (mastitis OR metritis) AND (cetosis OR hipocalcemia OR SARA) AND (resistencia OR AMR OR "tiempo de retiro")**EN:** (dairy cows) AND (antimicrobial OR antibiotic) AND (use OR treatment) AND (mastitis OR	Selección exclusiva de artículos con datos empíricos de campo o clínicos.

Dimensión / Bloque	Plataformas de Búsqueda	Cadenas de Búsqueda (Sintaxis Avanzada)	Filtros Aplicados
		metritis) AND (ketosis OR hypocalcemia OR SARA) AND ("antimicrobial resistance" OR AMR OR "withdrawal time")	
3.6. Dimensión Ambiental	PubMed, Scopus, Google Scholar	**ES:** (lechería OR "vacas lecheras") AND (emisiones OR "huella de carbono" OR CH4 OR "intensidad de emisiones") AND (eficiencia alimentaria OR desperdicio OR "rechazo de leche") AND (cetosis OR hipocalcemia OR SARA)**EN:** (dairy) AND (emissions OR "carbon footprint" OR methane OR CH4 OR "emission intensity") AND ("feed efficiency" OR waste OR "milk discard") AND (ketosis OR hypocalcemia OR SARA)	Modelos de simulación y estudios de ciclo de vida en hatos comerciales.
3.7. Intervenciones en Transición	PubMed, Scopus, Google Scholar	**ES:** (vacas lecheras) AND (transición OR preparto OR posparto) AND (propilenglicol OR monensina OR "sales aniónicas" OR "calcio oral" OR buffers) AND (cetosis OR hipocalcemia OR SARA) AND (eficacia OR efectividad)**EN:** (dairy cows) AND (transition OR prepartum OR postpartum) AND (propylene glycol OR	Evaluación clínica y nutricional de aditivos o manejos preventivos.

Dimensión / Bloque	Plataformas de Búsqueda	Cadenas de Búsqueda (Sintaxis Avanzada)	Filtros Aplicados
		monensin OR "anionic salts" OR "oral calcium" OR buffers) AND (ketosis OR hypocalcemia OR SARA) AND (efficacy OR effectiveness)	
3.8. Bienestar y Manejo	PubMed, Scopus, Google Scholar	**ES:** (vacas lecheras) AND (THI OR "estrés calórico" OR "densidad de comedero" OR "fibra efectiva" OR almidón) AND (cetosis OR hipocalcemia OR SARA) AND (bienestar OR cojeras OR laminitis OR "rumia" OR "tiempo de descanso")**EN:** (dairy cows) AND (THI OR "heat stress" OR "feeding space" OR "effective fiber" OR starch) AND (ketosis OR hipocalcemia OR SARA) AND (welfare OR lameness OR laminitis OR rumination OR "lying time")	Indicadores de comportamiento (tiempo de descanso, rumia) y estrés ambiental.
3.9. Normativas y Estándares Oficiales	Portales de FAO, WOAH/OIE, Codex	**ES:** ("límite MRL" OR "residuos en leche") AND (Codex OR "norma técnica" OR "reglamento")**EN:** ("MRL milk" OR "residues in milk") AND (Codex OR guideline OR regulation)	Documentos oficiales y directrices emitidas por organismos globales.

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo unificado de revisión *One Health*.

9.7.Estrategia de búsqueda bibliográfica

La estrategia de búsqueda se construyó mediante bloques conceptuales que combinan términos en inglés y español. Se utilizaron palabras clave relacionadas con vacas lecheras, enfermedades metabólicas, desempeño productivo y reproductivo, salud pública, calidad de leche, inocuidad, bienestar animal, ética y normativa.

9.7.1. Bloque de población

- dairy cows
- dairy cattle
- lactating cows
- milking cows
- vacas lecheras
- ganado lechero
- hatos lecheros
- bovinos de leche

9.7.2. Bloque de intervención o exposición

- metabolic diseases
- metabolic disorders
- ketosis
- milk fever
- hypocalcemia
- subacute ruminal acidosis
- SARA
- fatty liver

- enfermedades metabólicas
- cetosis
- hipocalcemia
- acidosis ruminal

9.7.3. Bloque de resultados productivos

- milk production
- milk yield
- milk composition
- milk quality
- reproductive performance
- production efficiency
- producción de leche
- rendimiento lechero
- calidad de la leche
- eficiencia reproductiva

9.7.4. Bloque de salud pública e inocuidad

- food safety
- food contamination
- milk safety
- public health
- chemical residues
- withdrawal time
- inocuidad alimentaria

- seguridad alimentaria
- residuos químicos
- tiempos de retiro

9.7.5. Bloque ético y normativo

- bioethics
- animal welfare
- consumer perception
- regulation
- standards
- bioética
- bienestar animal
- percepción del consumidor
- normativa
- regulación

9.8. Operadores booleanos y construcción de búsquedas concatenadas

Los operadores booleanos permitieron optimizar la recuperación documental. El operador AND combinó conceptos clave de población, exposición y resultados; el operador OR integró sinónimos; y las comillas permitieron buscar frases exactas y cadenas complejas.

Tabla 12

Cadenas de búsqueda ampliadas según objetivo específico

Objetivo	Cadena de búsqueda sugerida	Propósito
Objetivo 1	("dairy cows" OR "dairy cattle") AND ("metabolic diseases" OR "ketosis" OR "hypocalcemia" OR	Recuperar estudios sobre el impacto productivo y

	"subacute ruminal acidosis") AND ("milk production" OR "milk quality" OR "reproductive performance")	reproductivo de las enfermedades metabólicas.
Objetivo 1	("vacas lecheras" OR "ganado lechero") AND ("enfermedades metabólicas" OR "cetosis" OR "hipocalcemia") AND ("producción de leche" OR "calidad de leche" OR "eficiencia reproductiva")	Identificar evidencia en español sobre desempeño en lechería.
Objetivo 2	("dairy cows" OR "lactating cows") AND ("metabolic diseases" OR "ketosis") AND ("food safety" OR "public health" OR "chemical residues" OR "withdrawal time")	Localizar evidencia sobre seguridad alimentaria, riesgos e inocuidad de la leche.
Objetivo 2	("inocuidad alimentaria" OR "seguridad alimentaria") AND ("leche cruda" OR "leche bovina") AND ("enfermedades metabólicas" OR "residuos")	Localizar evidencia sobre inocuidad de productos lácteos.
Objetivo 3	("dairy cattle" OR "dairy cows") AND ("metabolic disorders") AND ("bioethics" OR "animal welfare" OR "consumer perception" OR "regulation")	Analizar posturas bioéticas, del bienestar animal y la regulación de los hatos lecheros.
Objetivo 3	"vacas lecheras" AND "enfermedades metabólicas") AND ("bioética" OR "bienestar animal" OR "normativa" OR "consumidor")	Localizar evidencia en lengua castellana sobre ética y normativa en lechería.

Fuente: Elaboración propia.

9.9. Gestión de referencias y depuración documental

Las referencias identificadas se organizaron mediante el gestor bibliográfico Mendeley, aplicando el estilo de citación Vancouver y eliminando duplicados mediante la comparación de título, autores, año, revista e identificadores digitales. La depuración se documentó en la matriz del Anexo 2. Se realizó una revisión preliminar de títulos y resúmenes para excluir documentos ajenos al ganado lechero, trastornos metabólicos, inocuidad de la leche, bienestar animal o normativas.

9.10. Selección de estudios

El proceso de selección constó de dos etapas:

1. Primera etapa: Evaluación de títulos y resúmenes para determinar la pertinencia temática.
2. Segunda etapa: Revisión del texto completo para confirmar su aporte a los objetivos del proyecto.

9.11. Criterios de elegibilidad y pertinencia

Para conformar una adecuada muestra de diversos documentos se aplicarán los siguientes criterios:

9.11.1. Criterios de inclusión:

- Estudios publicados que fuesen publicados entre el período 2010 y 2025.
- Artículos con carácter científico.
- Investigaciones que se concentran en la población de bovinos.
- Estudios con accesibilidad al texto completo.

9.11.2. Criterios de exclusión:

- Experimentos en diferentes especies, o que estén centrados exclusivamente en ganado de carne.
- Puntos de vista expertas presentando cartas al editor, de forma conjunta editoriales, y las revisiones narrativas.
- Estudios que no tengan ningún tipo de conexión analítico entre las dimensiones del enfoque One Health.
- Artículos que, entre bases de datos sean versiones duplicadas, o que no estén disponibles en texto completo.

9.12. Variables de estudio y matrices de extracción

Las variables se estructuraron en función de los tres objetivos específicos y se distribuyeron en matrices específicas:

9.12.1. Variables del objetivo específico 1

Se extrajeron datos sobre tipo de enfermedad metabólica, incidencia, días en leche, volumen de producción láctea, porcentaje de grasa y proteína, recuento de células somáticas, parámetros reproductivos (días abiertos, servicios por concepción) y tasas de morbilidad o desecho.

9.12.2. Variables del objetivo específico 2

Se extrajeron datos sobre la presencia de residuos químicos en leche derivados de tratamientos, cumplimiento de tiempos de retiro, límites máximos de residuos (LMR), contaminación de la leche cruda y riesgos para la salud pública.

9.12.3. Variables del objetivo específico 3

Se extrajeron datos sobre posturas bioéticas ante el sufrimiento animal, índices de bienestar en sistemas lecheros intensivos, percepción del consumidor, normativas vigentes y discrepancias regulatorias internacionales.

Tabla 13

Relación entre objetivos, variables y anexos metodológicos

Objetivo específico	Variables principales
Objetivo 1. Impacto técnico-productivo y reproductivo.	Producción de leche, calidad composicional (grasa, proteína, células somáticas), eficiencia reproductiva, incidencia de trastornos y parámetros de transición.

Objetivo 2. Seguridad alimentaria e inocuidad láctea.	Residuos químicos en leche, tiempos de retiro, límites máximos de residuos (LMR) y riesgos en salud pública.
Objetivo 3. Bioética y normativa.	Bienestar animal, posturas bioéticas, percepción del consumidor, normativas vigentes y regulación internacional.

Fuente: Elaboración propia.

9.13. Procedimiento de la revisión sistemática y extracción de datos

La ejecución del estudio se dividirá en etapas secuenciales:

1. Formulación de manera adecuada de la pregunta PECO.
2. Ejecución de búsquedas avanzadas en cada una de las bases de datos.
3. Cribado inicial para la eliminación de los duplicados y la depuración masiva de los artículos que no cumplen con los criterios de inclusión establecidos.
4. Evaluación de elegibilidad con un proceso de lectura**.**
5. Extracción de datos y registro mínimo.

9.14. Síntesis y análisis analítico de los datos

Al concluir la recolección, se realizará una síntesis narrativa y descriptiva de la información estructurada en cinco ejes temáticos fundamentales, prescindiendo del metaanálisis estadístico debido a la variabilidad intrínseca y heterogeneidad de los umbrales diagnósticos y definiciones de las publicaciones recopiladas. Los bloques de discusión contemplarán:

- **Bloque A:** Epidemiología, prevalencias regionales y umbrales críticos de biomarcadores metabólicos.
- **Bloque B:** impactos sobre los rendimientos productivos
- **Bloque C:** para la inocuidad y calidad ósea.
- **Bloque D:** Resistencia antimicrobiana (AMR).
- **Bloque E:** Dimensión ambiental.

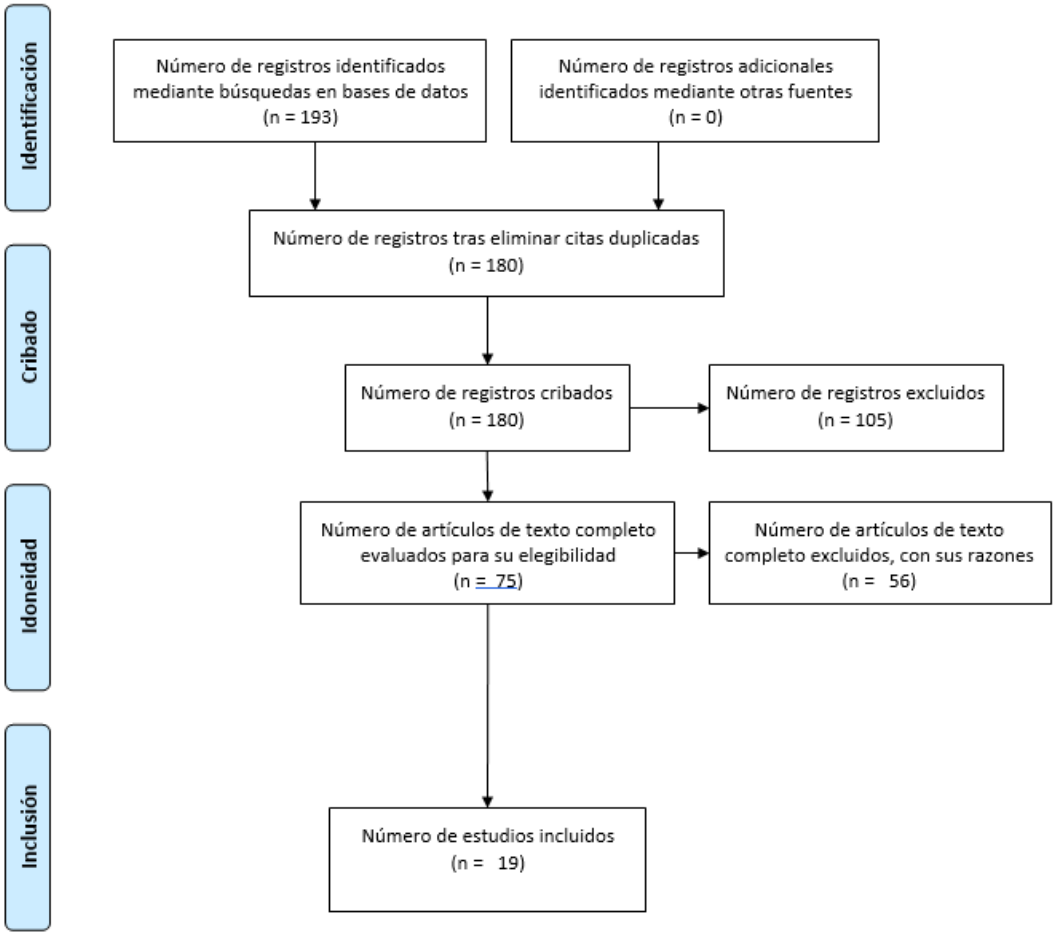
El análisis de cada uno del bloque buscará la identificación de las tendencias comunes, contrastando de esa forma los umbrales normativos mundiales y alcanzando a proponer una serie de soluciones integrales que son capaces de una demostración para las intervenciones que son oportunas dentro del manejo nutricional y preventivo.

10. RESULTADOS

Durante el proceso de selección de los diferentes artículos, el enfoque y búsqueda estuvo orientado a responder a los diferentes objetivos en donde fueron identificados en primera instancia 193 documentos (Figura 3), de los cuales fueron eliminados en la primera fase de cribado 13 de estos por duplicidad, quedando de esa forma un resultante de 180 registros. Luego a través de un proceso de lectura y análisis de sus títulos y resúmenes para observar si cumplían con los criterios establecidos fueron descartados un total de 105, quedando un subgrupo de 75 y de estos que fueron leídos con texto completo se descartaron 56 para solo quedar con una selección de 19 definitivos para un proceso de síntesis.

Figura 1

Diagrama de flujo



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la Matriz de selección evidencia una aplicación rigurosa de los criterios de elegibilidad, fundamentada en la pertinencia temática directa respecto al objeto de estudio. Este riguroso tamizado permitió suprimir de la muestra final aquellos estudios de carácter meramente fisiológico, garantizando que el corpus bibliográfico final se concentre de manera inequívoca en desórdenes críticos como la cetosis, la hipocalcemia y la acidosis ruminal subaguda (SARA).

Por otra parte, la matriz demuestra que la admisión de los artículos incluidos estuvo estrictamente condicionada a su capacidad para integrar el enfoque multidimensional de *One Health*. Las publicaciones seleccionadas alcanzan a abarcar una serie de contribuciones que

reflejan que no están limitados sus análisis al impacto que es producido por el hato, sino que están estrechamente relacionadas a la salud y todo el metabolismo de cada animal, así como también a la inocuidad alimentaria y el proceso de sustentabilidad ambiental. De este modo, la tabla valida que la base documental del proyecto posee la heterogeneidad geográfica y la solidez conceptual necesarias para describir con solvencia el impacto integral de los trastornos metabólicos en la seguridad alimentaria contemporánea.

La delimitación y consolidación de la evidencia científica recopilada se rigió estrictamente bajo los estándares metodológicos de la pregunta PECO, asegurando la transparencia y la replicabilidad en la exclusión de aquellos estudios que no se alinearan con el núcleo temático del proyecto (Page et al., 2021). A través de este tamizado sistemático, se descartaron investigaciones que, aunque describían parámetros productivos, reproductivos o de manejo mineral general en sistemas de lechería de la región (11, 12) carecían de un nexo analítico con las respuestas fisiopatológicas específicas de las vacas lecheras durante el periodo de transición (Sepúlveda, 2023).

Al restringir la muestra a publicaciones con un riguroso monitoreo clínico de trastornos metabólicos clave como la cetosis, la hipocalcemia y la acidosis ruminal subaguda SARA (Carranza, 2022; Chavarría et al., 2023; Ramos et al., 2022), se garantizó una base empírica idónea para caracterizar biomarcadores y ventanas temporales de muestreo mediante perfiles metabólicos precisos (Echeverría et al., 2024; Núñez, 2019). Asimismo, este criterio de selección validó la inclusión de trabajos que trascienden el enfoque netamente animal para adoptar de manera formal la perspectiva transversal de *One Health* (Una Sola Salud); de este modo, se incorporaron estudios que integran la inocuidad alimentaria desde el origen en el hato lácteo y el equilibrio ecológico en el continente (Diaz, 2021).

Esta masa crítica de documentos seleccionados no solo permite ponderar las comorbilidades y el impacto económico de los desórdenes nutricionales en las explotaciones

comerciales, sino que se fundamenta en las normativas y directrices de organismos globales para la vigilancia de residuos antimicrobianos, garantizando la seguridad del consumidor final (FAO, 2023, 2026; OMSA, 2026).

La selección de literatura que estuvo enfocada a nivel de salud del periparto bovino y de todo su impacto abordando de manera específica los desequilibrios metabólicos y carenciales, como los representados por la hipomagnesemia y cada una de las alteraciones minerales que están asociadas, excluyendo aquellos enfoques que fuesen ajenos a la cadena láctea. De acuerdo con Albornoz et al. (2017), Martínez et al. (2020), González Bucio (2017) y Mammi et al. (2021), con la inclusión de cada una de las revisiones sistemáticas y para cada uno de los estudios observacionales regionales que garantiza una base teórica sólida que es representativa para contrastar toda la prevalencia de cada uno de los desórdenes a nivel metabólico y de los minerales que son diferentes y productivos.

10.1. Resumen del objetivo específico 1

Tablas adicionales

A nivel de las enfermedades se observan un conjunto de alteraciones producto de la incapacidad de los bovinos para el proceso de adaptación de manera adecuada a cada una de las demandas nutricionales y fisiológicas del parto durante el inicio de la lactancia (Sundrum, 2025; Tufarelli et al., 2024). Estos elementos permiten una mayor comprensión de cómo el desbalance metabólico en cada una de las vías fisiológicas suele predisponer o incluso exacerbar las presentaciones de cada uno de los trastornos, comprometiendo así la salud general y la productividad de cada hato (Kang et al., 2025).

La frecuencia con la que se reportanlos diferentes trastornos varía de manera considerable en función de una serie de factores de manejo además de los intrínsecos, que se pueden dar por el sistema de producción, el número de los partos, el nivel productivo y cada

uno de los criterios y métodos diagnósticos que son empleados (McArt et al., 2012; Suthar et al., 2013). Mientras que para algunas de las patologías se presentan las altas tasas de presentación subclínicas difíciles para una detección a simple vista, otras alcanzan a mostrar variaciones regionales e incluso estacionales que están marcadas por el tipo de alimentación. Por ello, se enfatiza en el hecho de que la prevalencia no representa un valor estático, sino dinámico que ha sido influenciado por toda la eficiencia de cada uno de los programas para el monitoreo y el control de cada ganadería (Caixeta & Omontese, 2021).

Los principales factores predisponentes identificados alcanzan a girar en torno a todo el manejo nutricional, a las condiciones corporales que son inadecuadas al final del proceso de la gestación y a cada uno de los desequilibrios con aporte de minerales y de fibras (Arisnabarreta, 2023; Larrotta & Cadena, 2025). Estas situaciones como el consumo insuficiente de materia seca previo al parto, elementos como el exceso de los concentrados en la dieta, la baja disponibilidad de cada una de las fibras efectivas y las diferentes deficiencias dentro del manejo mineral alcanzan a desencadenar las conocidas cascadas metabólicas negativas (Khiaosa-ard et al., 2023; Ramos et al., 2022). Reconocer estos diferentes detonantes es fundamental para garantizar una anticipación a un colapso metabólico, de manera especial en las vacas multíparas y al alto potencial genético durante todo el posparto temprano (Larrotta & Cadena, 2025).

OE 1:

Describir la prevalencia y los factores de riesgo asociados a la presentación de cetosis/hígado graso, hipocalcemia, hipomagnesemia y acidosis ruminal subaguda durante el periodo de transición.

Tabla 14.

Resumen del OE1

Enfermedad	Prevalencia esperada en la literatura	Factores de riesgo principales	Datos que debe sintetizar la revisión
Cetosis e hígado graso	Variable según sistema, número de partos, nivel productivo y método diagnóstico	Alta condición corporal, bajo consumo, alta producción, posparto temprano	Porcentaje de animales afectados y factores asociados
Hipocalcemia	Mayor en vacas adultas y alrededor del parto	Número de partos, manejo mineral, alta demanda de calcio	Frecuencia clínica y subclínica, y factores predisponentes
Hipomagnesemia	Variable según dieta, pasturas y disponibilidad mineral	Bajo aporte de magnesio, desequilibrio mineral, posparto	Frecuencia reportada y relación con hipocalcemia
Acidosis ruminal subaguda	Variable según dieta y manejo alimentario	Exceso de concentrado, baja fibra efectiva, cambios bruscos de dieta	Frecuencia estimada y condiciones de alimentación asociadas

Fuente*:* Elaboración propia.

10.2. Resumen del objetivo específico 2

Es importante resaltar las diferentes patologías metabólicas que tienden a ser más críticas y con mayores repercusiones económicas dentro de los períodos de transición, las cuales alcanzan a exigir una serie de herramientas de detección que son precisas para lograr la mitigación de los diferentes impactos negativos sobre la producción, la eficiencia reproductiva y la longevidad del hato lechero (Caixeta & Omontese, 2021). Su abordaje

individualizado es uno de los elementos fundamentales dentro de las investigaciones, lo que favorece un perfil del monitoreo específico para cada uno de los trastornos. Aunque alcanzan a compartir cada uno de los momentos de vulnerabilidad fisiológica común que son asociados al estrés del periparto, respondiendo a los mecanismos etiológicos particulares que alcanza a requerir las estrategias analíticas que son diferenciadas para evitar todo el colapso sistémico de cada animal (Sundrum, 2025; Tufarelli et al., 2024).

Al desarrollar un correcto agrupamiento de cada una de las técnicas analíticas, de la serie de elementos de laboratorio y de bases clínicas que son de mayor fiabilidad dentro de las prácticas veterinarias modernas para la certificación y la presencia de cada uno de estos procedimientos metabólicos (Gallegos & Fonseca, 2021). La correcta elección de cada una de las herramientas que van desde la cuantificación directa en cada uno de los fluidos biológicos hasta las observaciones dentro del comportamiento animal, busca una maximización de elementos de sensibilidad como de la especificidad diagnóstica bajo cada una de las condiciones reales de campo (Armstrong et al., 2026). Asimismo, se debe enfatizar sobre el proceso de transición desde métodos tradicionales invasivos hacia alternativas de diagnóstico rápido y de bajo costo que pueden favorecer las diferentes decisiones de manera oportuna por parte del clínico y el productor (Larrotta & Cadena, 2025).

Los biomarcadores alcanzan a definir con precisión los parámetros fisiológicos, bioquímicos e incluso zootécnicos que son más específicos y que pueden ser cuantificados para la evidencia de los grados de alteraciones metabólicas, abarcando de esa forma los metabolitos sanguíneos y cada uno de los perfiles enzimáticos hasta las diferentes métricas que son indirectas como se da para el comportamiento de la rumina o la composición láctea (Grigė et al., 2025). Con el uso riguroso de cada uno de estos indicadores se puede ser objetivo con el nivel o estado metabólico de cada bovino, logrando de esa forma la

identificación de los desequilibrios sutiles o los estadios subclínicos antes de que sean manifestados de una manera clínica evidente y que causen daños irreversibles en cada uno de los tejidos u órganos blanco (Eom et al., 2021; Suthar et al., 2013).

El intervalo crítico de tiempo se concentró en las últimas semanas de gestación, con el día del parto y cada una de las primeras semanas de lactancia dentro de las cuales la evaluación del biomarcador ofrece una máxima eficacia predictiva e incluso diagnóstica (McArt et al., 2012). Al considerar este conjunto de ventanas se obtienen requisitos que son indispensables, debido a que los valores bioquímicos e incluso hormonales fluctúan de manera drástica según cada proceso e intensidad del balance energético que es negativo y con una capacidad de adaptación homesostática para cada bovino (Larrotta & Cadena, 2025). Un monitoreo que sea realizado fuera de estos márgenes temporales puede alcanzar a enmascarar una verdadera patología o la subestimación de la gravedad del problema dentro de cada hato (Caixeta & Omontese, 2021).

Se debe resaltar la importancia de cumplir de manera rigurosa con la evaluación de los diferentes métodos analíticos y de diagnóstico, que son orientados a la síntesis bibliográfica hacia una utilidad clínica práctica, con una diferenciación clara entre cada una de las presentaciones clínicas y subclínicas además del verdadero valor que es preventivo (Page et al., 2021). Esto elementos pueden facilitar no solo las estandarizaciones de cada uno de los criterios diagnósticos dentro de la investigación científica actual, sino que también favorecen una implementación de los programas de control en cada uno de los campos que están orientados a salvaguardar el bienestar animal y toda la rentabilidad de cada uno de los sistemas lecheros (Golder & Lean, 2024).

OE 2:

Identificar los principales métodos de diagnóstico para cetosis/hígado graso, hipocalcemia, hipomagnesemia y acidosis ruminal subaguda, incluyendo las ventanas temporales de medición.

Tabla 15

Resumen del OE2

Enfermedad	Método diagnóstico principal	Biomarcador o indicador	Ventana temporal de medición	Interpretación para la revisión
Cetosis	Medición de beta-hidroxibutirato	Beta-hidroxibutirato en sangre, leche u orina	Posparto temprano	Método central para detectar cetosis clínica y subclínica
Hígado graso	Evaluación de movilización lipídica y función hepática	Ácidos grasos no esterificados, beta-hidroxibutirato y pruebas hepáticas	Preparto y posparto temprano	Permite valorar riesgo de acumulación de grasa hepática
Hipocalcemia	Medición de calcio	Calcio total o calcio ionizado	Parto y primeras horas posparto	Distingue alteración mineral clínica y subclínica
Hipomagnesemia	Medición de magnesio	Magnesio sérico o plasmático	Posparto y momentos de riesgo nutricional	Evalúa deficiencia mineral y su relación con calcio
Acidosis ruminal subaguda	Evaluación ruminal directa o indirecta	pH ruminal, heces, rumia y	Inicio de lactancia y adaptación a	Identifica alteración

	composición de leche	dieta de producción	fermentativa ruminal

Fuente*:* Elaboración propia.

10.3. Resumen del objetivo específico 3

Es importante resaltar que las patologías metabólicas críticas del periodo de transición, cuyo descontrol sistémico alcanza a desencadenar todas las consecuencias deletéreas que trascienden en el ámbito puramente clínico de cada bovino (Sundrum, 2025). Su agrupación conjunta así como también su análisis favorece una mayor comprensión de elementos como el fallo metabólico primario comprometiendo de manera integral los múltiples ejes funcionales de cada organismo vacuno, afectando de esta forma tanto la viabilidad económica como el sistema de producción como en la salinidad de cada uno de los alimentos que son derivados (Tufarelli et al., 2024).

Dentro del impacto causado en la producción de leche se observaron disminuciones en los diferentes volúmenes producidos, con la alteración de la síntesis de cada uno de sus componentes útiles (como la grasa y la proteína láctea) además de una reducción global de eficiencia con una conversión alimentaria (Golder & Lean, 2024). Las diferentes alteraciones metabólicas comprometen de una forma drástica toda la capacidad secretora para la glándula mamaria y el consumo de la materia seca, limitando de esa forma la expresión de todo el potencial genético del hato durante el proceso de la lactancia temprana (Kang et al., 2025).

Para el impacto en la fertilidad se observaron repercusiones a mediano y corto plazo sobre los diferentes desempeños de los bovinos que estaban caracterizados por los retrasos en la involución uterina, las prolongaciones del intervalo parto – concepción, el incremento de cada uno de los días abiertos y las menores tasas de concepción al primer servicio

(Arisnabarreta, 2023). El estrés metabólico y todo el balance energético negativo alcanza a alterar cada uno de los ejes endocrinos que permiten la regulación de la dinámica folicular y de la calidad ovocitaria, comprometiendo de esta forma le eficiencia reproductiva y las rentabilidades de cada hato (Suárez, 2024).

Se refleja un vínculo con inocuidad y seguridad alimentaria la cual conecta la salud metabólica del animal con la calidad higiénico-sanitaria de la leche además de la sostenibilidad de la cadena dentro del suministro alimentaria (Priyashantha, 2025). La mayor incidencia de las diferentes patologías secundarías y cada uno de los trastornos que están asociadas a las vacas que presentan metabolismos comprometidos incrementan una necesidad de instauración de diferentes tratamientos farmacológicos como se puede presentar para el uso de antimicrobianos o de las terapias de soporte, lo que alcanza a elevar el riesgo y la presencia de cada uno de los residuos químicos en los alimentos destinados para el consumo humano que afectan la estabilidad global dentro del sector lechero (Costa et al., 2024; Pires et al., 2024).

OE 3:

Sintetizar el impacto de estos trastornos sobre producción de leche y fertilidad, y su vínculo con la inocuidad y seguridad alimentaria.

Tabla 16

Resumen del OE3

Enfermedad	Impacto en producción de leche	Impacto en fertilidad	Vínculo con inocuidad y seguridad alimentaria
Cetosis e hígado graso	Disminuye producción y	Retrasa recuperación reproductiva y	Reduce disponibilidad de leche y aumenta

	eficiencia alimentaria	puede aumentar días abiertos	riesgo de enfermedades secundarias
Hipocalcemia	Reduce consumo, rumia y desempeño productivo	Favorece trastornos posparto que afectan fertilidad	Aumenta riesgo de comorbilidades y tratamientos
Hipomagnesemia	Afecta desempeño por alteración mineral y neuromuscular	Puede comprometer recuperación posparto	Reduce estabilidad sanitaria y productiva del hato
Acidosis ruminal subaguda	Afecta grasa láctea, eficiencia alimentaria y salud ruminal	Impacto indirecto por estrés metabólico y pérdida de condición	Puede afectar calidad de leche, bienestar y sostenibilidad productiva

Fuente*:* Elaboración propia.

La Tabla 13 sintetiza la matriz de alineación estructural del estudio al vincular de forma directa cada objetivo específico con su respectivo capítulo del marco teórico y el producto esperado de la revisión, garantizando así la coherencia metodológica y conceptual de la investigación.

Tabla 17

Matriz de alineación entre objetivos y capítulos del marco teórico

Objetivo específico	**Capítulos del marco teórico que lo responden**	**Producto esperado de la revisión**
Objetivo 1: prevalencia y factores de riesgo	Capítulos 2, 3 y 4	Síntesis de enfermedades metabólicas prioritarias, prevalencia y factores predisponentes

Objetivo 2: diagnóstico y ventanas temporales	Capítulo 5	Resumen de biomarcadores, métodos diagnósticos y momentos de medición
Objetivo 3: impacto productivo, fertilidad e inocuidad	Capítulos 6, 7 y 8	Integración del impacto sobre leche, reproducción, salud animal y seguridad alimentaria

Fuente*:* Elaboración propia.

11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

11.1. Impacto técnico

Favoreciendo la revisión de protocolos de diagnóstico precoz además del manejo nutricional, que son estandarizados con cada uno de los criterios para la maximización de una eficiencia efectiva.

11.2. Impacto social

Con un análisis de la evidencia en el área de la metabólica del ganado que garantiza un suministro estable para todo el proceso de la proteína de calidad, fortaleciendo de esta forma la resiliencia de la seguridad alimentaria global.

11.3. Impacto ambiental

El estudio favorece la optimización de todo el metabolismo animal mejora el uso de nutrientes.

11.4. Impacto económico

La investigación valida que todo el proceso de control preventivo para las enfermedades que reducen la pérdida por descarte y gastos veterinarios.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1. Conclusiones

La revisión de la literatura permitió identificar que la cetosis, el hígado graso, la hipocalcemia, la hipomagnesemia y la acidosis ruminal subaguda (SARA) son los trastornos

metabólicos más frecuentes en las vacas lecheras durante el período de transición. Su aparición se relaciona principalmente con factores que pueden ser modificados mediante un manejo adecuado, entre ellos una alimentación inadecuada, cambios repentinos en la dieta, un bajo consumo de materia seca, el balance energético negativo, una condición corporal elevada al momento del parto y un aporte insuficiente de minerales. Por lo tanto, reconocer y controlar estos factores de riesgo es la medida principal para conseguir disminuir la incidencia de estas enfermedades y favorecer la salud del rebaño.

También quedó de manifiesto que la detección precoz y el seguimiento del rebaño en las explotaciones lecheras son determinantes en la prevención y el control de los trastornos metabólicos. La determinación de biomarcadores como los ácidos grasos no esterificados (NEFA), el β-hidroxibutirato (BHBA), el calcio total e ionizado, el magnesio sérico, el pH ruminal y otros indicadores clínicos y productivos durante las variables etapa preparto y posparto permite identificar alteraciones del metabolismo antes de que se presenten signos clínicos. Esta información facilita la aplicación de medidas preventivas y correctivas oportunas, reduciendo la aparición de enfermedades secundarias y las pérdidas económicas.

La evidencia científica también demuestra que estos trastornos tienen un impacto negativo sobre la producción de leche, la eficiencia reproductiva y el bienestar de las vacas, además de favorecer la aparición de enfermedades como mastitis, metritis, desplazamiento de abomaso, laminitis y otros problemas reproductivos. De igual forma, incrementan la necesidad de utilizar medicamentos veterinarios, especialmente antimicrobianos, lo que aumenta el riesgo de residuos en la leche y favorece el desarrollo de resistencia antimicrobiana. Desde la perspectiva de One Health, la prevención y la gestión correcta de los trastornos metabólicos mejoran la productividad y sostenibilidad de los sistemas lecheros, potencializando además la capacidad de garantizar la inocuidad de la leche, proteger la salud pública y reducir el impacto medioambiental.

12.2. Recomendaciones

Es oportuno diseñar e implementar una serie de programas de alimentación preparto que incluyan una diversidad de raciones balanceadas on sus correspondientes aditivos reguladores para la fermentación y su uso estricto para el control de condiciones corporales que busquen mitigar el BEN antes del parto.

Protocolizar un adecuado calendario de muestreo sistemático que sea obligatorio dentro de cada uno de los procesos en la granja y que este enfocado de una manera estricta en las llamadas "ventanas temporales de riesgo" identificadas, permitiendo de esa forma obtener un diagnóstico predictivo y oportuno para cada una de las manifestaciones de sinología clínica severa.

Es necesario la sustitución de los distintos antibióticos reactivos que son irrefutables del uso de los diversos compuestos nutracéuticos, inmunomoduladores y fotogénicos que llegan a estabilizar todo el metabolismo de cada res vaca como formal y natural, logrando así disminuir el descarte animal.

13. BIBLIOGRAFÍA

Adan, E. (2023). *Caracterización productiva y reproductiva de los sistemas de lechería tropical del Piedemonte Araucano* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.

Ajose, D., Oluwarinde, B., Abolarinwa, T., Fri, J., Montso, K., Fayemi, O., Aremu, A., & Ateba, C. (2022). Combating Bovine Mastitis in the Dairy Sector in an Era of Antimicrobial Resistance: Ethno-veterinary Medicinal Option as a Viable Alternative Approach. *Frontiers in Veterinary Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.800322

Alvarado, M. (2025). *Frecuencia de cetosis subclínica mediante la concentración de BHB y su relación con los indicadores productivos en vacas lecheras de la campiña de Cajamarca* [Tesis de ingenieria, Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/8033

Arisnabarreta, E. (2023). La nutrición en el período de transición y su fertilidad en vacas lecheras. *Taurus*, *25*(1), 12. https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A14%3A26835918/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A164138895&crl=c&link_origin=scholar.google.com

Armstrong, J., Caixeta, L., & Omontese, B. (2026). *Gestión y seguimiento de la salud de las vacas lecheras en transición*. https://es.extension.umn.edu/vacas-lecheras/vacas-lecheras-de-transici%C3%B3n?utm_source=chatgpt.com

Avilés Ruíz, R., Barrón Bravo, O. G., Gutiérrez Chávez, A. J., & Ruiz Albarrán, M. (2024). Principales sistemas de producción de leche en México: recopilación actual de parámetros productivos, reproductivos y de manejo. *Ciencias Veterinarias y Producción Animal*, 32–47. https://doi.org/10.29059/cvpa.v1i2.16

Caixeta, L., & Omontese, B. (2021). Monitoring and Improving the Metabolic Health of Dairy Cows during the Transition Period. *Animals*, *11*(2), 352. https://doi.org/10.3390/ani11020352

Carranza, Á. (2022). *Evaluación de trastornos metabólicos en vacas estabuladas en período de transición en la hacienda "San Agustín"* [Tesis de ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. https://dspace.espoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/52b6ca08-8994-4941-8ad8-4fea1f0234d9/content

Chavarría, J., García, F., Treminio, B., & Reyes, N. (2023). Cetosis subclínica como trastorno metabólico en vacas lecheras durante las etapas productivas de periparto, lactancia temprana y lactancia media. *La Calera*, *23*(41). https://doi.org/10.5377/calera.v23i41.17267

Costa, L., Gebara, C., Zacaroni, O., Freitas, N., Silva, A., Prado, C., Nunes, I., Cavicchioli, V., Duarte, F., Lage, M., Alencar, F., Machado, B., Hodel, K., & Minafra, C. (2024). Antibiotic Residues in Raw Cow's Milk: A Systematic Review of the Last Decade. *Foods*, *13*(23), 3758. https://doi.org/10.3390/foods13233758

Diaz, J. (2021). *Revisión de la literatura sobre one health (una salud) en publicaciones latinoamericanas, en el período 2010 - 2018* [Tesis de ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia]. https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/12705f37-01eb-4120-9c18-e83677d12468

Duque, M. (2025). Cetosis subclínica en vacas lecheras: prevalencia, implicaciones metabólicas y necesidad de un abordaje sistémico. *Revista Lasallista de Investigación*, *22*(1), 144–163. https://doi.org/10.22507/rli.v22n1a3665

Echeverría, T., Núñez, M. F., Vásquez, S., & Casierra, Á. (2024). Balance energético negativo (cetosis) en rumiantes camélidos sudamericanos: Revisión bibliográfica. *RECIENA*, *4*(1), 33–44. https://doi.org/10.47187/4ANYQH68

Eom, J., Kim, H., Lee, S., Choi, Y., Jo, S., Kim, J., Lee, S., Kim, E., & Lee, S. (2021). Metabolic Profiling of Rumen Fluid and Milk in Lactating Dairy Cattle Influenced by Subclinical Ketosis Using Proton Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Animals*, *11*(9), 2526. https://doi.org/10.3390/ani11092526

FAO. (2023). *Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimnetarias* . https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-16%252FREPORT%252FFINAL%2BREPORT%252FREP23_CF16s.pdf

FAO. (2026). *Límites máximos de residuos (LMR) | CODEXALIMENTARIUS FAO-WHO*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/maximum-residue-limits/es/

Frizzarini, W. S., Monteiro, P. L. J., Nascimento Andrade, J. P., Vang, A. L., Cunha, T. O., Beard, A. D., Domingues, R. R., Connelly, M. K., Fricke, H. P., Wiltbank, M. C., & Hernandez, L. L. (2026). The physiological effects of induced prepartum subclinical hypocalcemia in multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *109*(4), 4604–4618. https://doi.org/10.3168/jds.2025-27370

Gallegos, G., & Fonseca, C. (2021). La hipocalcemia en vacas lecheras y sus alternativas diagnósticas en campo: Revisión. *La Técnica*, *11*(1), 54–74. https://doi.org/10.33936/latécnica.v0i25.2590

Golder, H. M., & Lean, I. J. (2024). Invited review: Ruminal acidosis and its definition—A critical review. In *Journal of Dairy Science* (Vol. 107, Number 12, pp. 10066–10098). Elsevier Inc. https://doi.org/10.3168/jds.2024-24817

Grigė, S., Girdauskaitė, A., Anskienė, L., Rodaitė, I., Ginkus, E., Džermeikaitė, K., Krištolaitytė, J., Šertvytytė, G., Lembovičiūtė, G., & Antanaitis, R. (2025). Subclinical Hypocalcemia in Dairy Cows: An Integrative Evaluation of Blood Biomarkers, In-Line Milk Composition, and Rumination Behavior. *Life*, *15*(12), 1810. https://doi.org/10.3390/life15121810

International Food Standards. (n.d.). *Maximum residue limits (MRLs) for residues of veterinary drugs in foods (CXM 2)*. Retrieved July 5, 2026, from https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/hu/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXM%2B2%252FMRL2e.pdf&__cf_chl_f_tk=iU5zci5c2o4GD6k0p_IHxsU94wzbaKkqAJVc5EByBYM-1783371166-1.0.1.1-3PhM_tewxcRikjOO5NgjanOeho958it20fK6V4A2X2c

Kang, D., Lungu, S. E., Danso, F., Dzou, C. F., Chen, Y., Zheng, X., Nie, F., Lin, H., Chen, J., & Zhou, G. (2025). Animal health and nutrition: metabolic disorders in cattle and improvement strategies. In *Frontiers in Veterinary Science* (Vol. 12). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1470391

Khiaosa-ard, R., Ottoboni, M., Verstringe, S., Gruber, T., Hartinger, T., Humer, E., Bruggeman, G., & Zebeli, Q. (2023). Magnesium in dairy cattle nutrition: A meta-analysis on magnesium absorption in dairy cattle and assessment of simple solubility tests to predict magnesium availability from supplemental sources. *Journal of Dairy Science*, *106*(12), 8758–8773. https://doi.org/10.3168/jds.2023-23560

Khiaosa, R., Ottoboni, M., Verstringe, S., Gruber, T., Hartinger, T., Humer, E., Bruggeman, G., & Zebeli, Q. (2023). Magnesium in dairy cattle nutrition: A meta-analysis on magnesium absorption in dairy cattle and assessment of simple solubility tests to predict magnesium availability from supplemental sources. *Journal of Dairy Science*, *106*(12), 8758–8773. https://doi.org/10.3168/jds.2023-23560

Larrotta, M., & Cadena, D. (2025). *Actualización sobre los factores de riego y el manejo terapéutico de la cetosis e hipocalcemia en vacas lecheras postparto en América* [Tesis de Licenciatura]. https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/6575b77b-f5ee-461d-8ff3-fcfd580926d3/content

Liu, K., Zhang, Y., Yu, Z., Xu, Q., Zheng, N., Zhao, S., Huang, G., & Wang, J. (2021). Ruminal microbiota–host interaction and its effect on nutrient metabolism. *Animal Nutrition*, *7*(1), 49–55. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.12.001

Loja, J. (2022). *Efecto de microorganismos probióticos sobre la acidosis ruminal en vacas lecheras* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Cotopaxi]. http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10784

Loor, R. (2024). *Propuesta de optimización de los procesos de producción en una granja de tilapia ubicada en la cuidad de Guayaquil* [Tesis de ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27646/1/UPS-GT005087.pdf

Martins, L. F., Cueva, S. F., Silvestre, T., Stepanchenko, N., Wasson, D. E., Wall, E., & Hristov, A. N. (2024). Lactational performance, enteric methane emission, and nutrient utilization of dairy cows supplemented with botanicals. *Journal of Dairy Science*, *107*(1), 242–257. https://doi.org/10.3168/jds.2023-23719

Matthews, C., Crispie, F., Lewis, E., Reid, M., O'Toole, P. W., & Cotter, P. D. (2019). The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. *Gut Microbes*, *10*(2), 115–132. https://doi.org/10.1080/19490976.2018.1505176

McArt, J., Nydam, D., & Oetzel, G. (2012). Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *95*(9), 5056–5066. https://doi.org/10.3168/jds.2012-5443

Núñez, A. (2019). *Publicación: Perfiles metabólicos: proteínas totales, albúmina, globulinas, fosfatasa alcalina, aspartato aminotransferasa, calcio y urea; en vacas lecheras aparentemente sanas en establos de la cuenca de Lima, Perú* [Tesis de profesionalización, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. https://hdl.handle.net/20.500.12866/8432

OMSA. (2026). *Normas - OMSA - Organización Mundial de Sanidad Animal*. https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/

Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A.,

Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo, E., McDonald, S., … Alonso, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, *74*(9), 790–799. https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016

Peña, M., & McCarville, J. (2025). *Puntuación de la condición corporal en ganado lechero*. https://dairy.extension.wisc.edu/articles/body-condition-score-in-dairy-cattle/

Pires, A., Pereira, G., Fangueiro, D., Bexiga, R., & Oliveira, M. (2024). When the solution becomes the problem: a review on antimicrobial resistance in dairy cattle. *Future Microbiology*, *19*(10), 903–929. https://doi.org/10.2217/fmb-2023-0232

Priyashantha, H. (2025). World dairy system sustainability: a milk quality perspective. *Frontiers in Sustainable Resource Management*, *4*(1). https://doi.org/10.3389/fsrma.2025.1572962

Ramos, T. R., Prado, R. M. do, Ornaghi, M. G., Stuani, O. F., Penha, G. P., & Prado, I. N. do. (2022). SARA (Subacute Ruminal Acidosis) sua caracterização e consequências em bovinos: Revisão. *Pubvet*, *16*(6), 1–11. https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n06a1135.1-11

Redfern, E., Sinclair, L., & Robinson, P. (2021). Dairy cow health and management in the transition period: The need to understand the human dimension. *Research in Veterinary Science*, *137*, 94–101. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.04.029

Robichaud, D., Nicola, I., Chupin, H., Roy, J., Buczinski, S., Fauteux, V., Picard-Hagen, N., Cue, R., & Dubuc, J. (2024). Herd-level associations between the proportion of elevated prepartum nonesterified fatty acid concentrations and postpartum diseases, reproduction, or culling on dairy farms. *JDS Communications*, *5*(3), 210–214. https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0510

Sepúlveda, P. (2023). Principales desafíos para el bienestar de la vaca lechera durante el periodo de transición. *Bienestar Animal*, *32*(1), 32–44. https://bienestaranimal.org.uy/wp-content/uploads/2022/11/Libro-de-Resumenes.pdf#page=32

Suárez, M. (2024). *Impacto de la Inflamación en la Salud Reproductiva* [Tesis de ingeniería, Universidad de la Laguna]. https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/38544/Impacto%20de%20la%20Inflamacion%20en%20la%20Salud%20Reproductiva.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sundrum, A. (2025). Metabolic disorders in the transition period indicate that the dairy cows' ability to adapt is overstressed. In *Animals* (Vol. 5, Number 4, pp. 978–1020). https://doi.org/10.3390/ani5040395

Suthar, V., Canelas-Raposo, Deniz, A., & Heuwieser, W. (2013). Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *96*(5), 2925–2938. https://doi.org/10.3168/jds.2012-6035

Tufarelli, V., Puvača, N., Glamočić, D., Pugliese, G., & Colonna, M. A. (2024). The Most Important Metabolic Diseases in Dairy Cattle during the Transition Period. In *Animals* (Vol. 14, Number 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/ani14050816

Udainiya, S., Tiwari, A., Ahirwar, K., & Mishra, A. (2024). *Hipomagnesemia. En Enfermedades periparto del ganado* (Tanmoy Rana MVSc y PhD, Ed.). https://doi.org/10.1002/9781394204007.ch17